

PENGARUH MEDAN LISTRIK BERPULSA (PEF) TERHADAP HASIL DAN KUALITAS MINYAK ATSIRI BIJI PALA

SKRIPSI

Oleh
KHAIRY FADHILAH
145100300111021

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana
Teknologi Pertanian



**JURUSAN TEKNOLOGI INDUSTRI PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2018**

LEMBAR PERSETUJUAN

Judul Tugas Akhir : Pengaruh Medan Listrik Berpulsa (PEF)
Terhadap Hasil dan Kualitas Minyak Atsiri
Biji Pala
Nama Mahasiswa : Khairy Fadhillah
NIM : 145100300111021
Jurusan : Teknologi Industri Pertanian
Fakultas : Teknologi Pertanian

Pembimbing Pertama,



Dr. Ir. Sukardi, MS.

NIP. 19600626 198601 1 001

Pembimbing Kedua,



Nur Lailatul Rahmah, S.Si, M.Si

NIP. 19840522 201212 2 002

Tanggal Persetujuan:

Tanggal Persetujuan:

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Tugas Akhir : Pengaruh Medan Listrik Berpulsa (PEF)
Terhadap Hasil dan Kualitas Minyak Atsiri
Biji Pala
Nama Mahasiswa : Khairy Fadhilah
NIM : 145100300111021
Jurusan : Teknologi Industri Pertanian
Fakultas : Teknologi Pertanian

Dosen Penguji I,

Dr. Sucipto STP. MP
NIP 19730602 199903 1 001

Dosen Penguji II,

Nur Lailatul Rahmah, S.Si, M.Si
NIP 19840522 201212 2 002

Dosen Penguji III,

Dr. Ir. Sukardi, MS
NIP 19600626 198601 1 001



Dr. Sucipto STP. MP
NIP 19730602 199903 1 001

Tanggal Lulus TA :

RIWAYAT HIDUP



Khairy Fadhilah adalah nama penulis skripsi ini. Penulis merupakan buah hati dari pasangan Bapak Yonggi Fadly dan Ibu Sarilita yang dilahirkan di Kota Bukittinggi, Provinsi Sumatera Barat pada 4 April 1997. Penulis adalah anak pertama dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan dimulai dari taman kanak-kanak di Taman Kanak-Kanak Pertiwi, Kototinggi, Kab. 50 Kota (lulus tahun 2002), melanjutkan ke SD N 02 Kototinggi Kab. 50 Kota (lulus tahun 2008), dan MTsN Payakumbuh (lulus pada tahun 2011) serta melanjutkan ke SMA N 1 Payakumbuh (lulus tahun 2014) hingga akhirnya bias menempuh masa kuliah di Jurusan Teknologi Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya Malang.

Selama menempuh pendidikan di jurusan Teknologi Industri Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya (TIP FTP UB), penulis aktif mengikuti organisasi dan beberapa kegiatan kepanitiaan. Organisasi yang pernah diikuti adalah Himpunan Mahasiswa Teknologi Industri Pertanian (HIMATITAN) sebagai anggota muda bidang Penelitian dan Pengembangan Organisasi (periode 2014-2015), staf Bidang Kaderisasi dan Pengembangan Organisasi (periode 2015-2016), dan sebagai Bendahara Umum (periode 2016-2017). Selain aktif di HIMATITAN penulis juga aktif di organisasi *Agritech Research and Study Club* (ARSC) sebagai anggota muda, staf, dan staf ahli di Bidang Penulisan dan Kompetisi. Kegiatan kepanitiaan yang pernah diikuti penulis diantaranya adalah bendahara bakti sosial HIMATITAN 2015, bendahara kegiatan Pekan Keakraban Mahasiswa 2015, staf acara expo *Scientific Great Moment* (SGM) 2015, bendahara HIMATITAN *Great Event* (HI-GREAT) 2016, staf acara HIMATITAN *Leadership* (HI-LEAD) 2016, bendahara *Scientific Great Moment* (SGM) 2016, dan menjadi *Steering Comittee* (SC) pada kegiatan Pekan Keakraban Mahasiswa 2016, kegiatan Simposium dan Expo Teknologi 2017, serta kegiatan *Scientific*

Great Moment (SGM) 2017. Kemudian juga pernah menjadi kestar di pada kegiatan *International Conference on Green Agroindustry and Bioeconomy 2017*.

Selain aktif di organisasi dan kepanitian, penulis juga aktif menjadi asisten praktikum, diantaranya asisten praktikum Kimia Dasar TA 2015-2016, asisten praktikum Statistika Industri 2 TA 2016-2017, asisten praktikum Satuan Operasi dan Proses TA 2016-2017, Perancangan Kerja dan Ergonomi TA 2016-2017, dan Koordinator asisten praktikum Satuan Operasi dan Proses TA 2017-2018 serta Koordinator asisten Praktikum Analisis dan Evaluasi Mutu Produk Agroindustri TA 2018-2019.

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan terdapat kemudahan.” (QS. Al-Insyirah: 5)

“Barangsiapa yang menempuh jalan untuk mencari suatu ilmu, niscaya Allah memudahkannya ke jalan menuju surga.”
(HR. Turmudzi)

Ibu, Papa
Tiada cinta yang paling suci selain kasih sayangmu
Setulus hatimu Ibu, searif arahanmu Papa
Doamu hadirkan keridhaan untukku
Nasihatmu menuntun langkahku, diantara perjuangan dan
tetesan doa malammu telah merangkul diriku menuju hari
esok yang lebih cerah.
Kini diriku telah mampu menyelesaikan masa studiku, dengan
kerendahan hati dan keridhaan-Mu ya Allah
Kupersembahkan skripsiku ini
sebagai tanda terima kasih dan kasih sayang
kepada Ibu dan Papa tercinta serta orang-orang tersayang

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Mahasiswa : Khairy Fadhilah
NIM : 145100300111021
Jurusan : Teknologi Industri Pertanian
Fakultas : Teknologi Pertanian
Judul Skripsi : Pengaruh Medan Listrik Berpulsa (PEF)
Terhadap Hasil dan Kualitas Minyak
Atsiri Biji Pala

Menyatakan bahwa,

Skripsi dengan judul di atas merupakan karya asli penulis tersebut di atas. Apabila di kemudian hari terbukti pernyataan ini tidak benar, saya bersedia dituntut sesuai dengan hukum yang berlaku.

Malang, September 2018
Pembuat pernyataan,



Khairy Fadhilah
NIM.145100300111021

repository.ub.ac.id

KHAIRY FADHILAH. 145100300111021. Pengaruh Medan Listrik Berpulsa (PEF) terhadap Hasil dan Kualitas Minyak Atsiri Biji Pala TA. Pembimbing 1: Dr. Ir. Sukardi, MS. Pembimbing 2: Nur Lailatul Rahmah, S.Si, M.Si.

RINGKASAN

Tanaman pala (*Myristica fragrans*) merupakan salah satu tanaman rempah asli Indonesia yang memiliki nilai ekonomis tinggi dan multiguna dalam industri. Salah satu manfaatnya adalah minyak atsiri yang dapat diperoleh dari biji, fuli, dan daging buah pala dengan kandungan minyak atsirinya berkisar 5-16% tergantung dari kualitas tanaman pala itu sendiri. Pengambilan minyak atsiri biji pala dapat dilakukan dengan metode destilasi uap air. Berdasarkan hasil penelitian terdahulu, destilasi biji pala selama 6 jam menghasilkan rendemen sebesar 1,381%. Kecilnya rendemen dari proses destilasi maka perlu perlakuan pendahuluan terhadap bahan dengan cara memperluas permukaan bahan dan menggunakan medan listrik berpulsa atau *Pulse Electric Field*. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh waktu paparan PEF dan medan listrik yang digunakan terhadap hasil dan kualitas minyak biji pala serta mengetahui kombinasi waktu paparan PEF dan medan listrik yang tepat untuk menghasilkan rendemen dan kualitas yang terbaik.

Penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) 2 faktor. Faktor pertama adalah medan listrik (E) terdiri dari 3 level (250 v/cm, 300 v/cm, dan 350 v/cm) dan faktor kedua adalah waktu PEF (t) yang terdiri dari 3 level (3 menit, 5 menit, dan 7 menit). Percobaan diulang 3 kali sehingga terdapat 27 satuan percobaan. Pengolahan dan analisis data dilakukan menggunakan analisis ragam atau ANOVA (*Analysis of Variant*) dengan selang kepercayaan 95%. Pemilihan perlakuan terbaik menggunakan metode De Garmo.

Perlakuan *pre-treatment* PEF pada biji pala menyebabkan kerusakan pada membrane sel biji pala akibat peristiwa *gate ion channel*. Kombinasi perlakuan medan listrik dan lama PEF terbaik adalah medan listrik 350v/cm dengan

lama PEF 420 detik. Hasil dari perlakuan terbaik adalah terjadinya peningkatan transfer massa dan rendemen hingga 18,969% dan 23,462% yang memiliki berat jenis sebesar 0,886, indeks bias 1,47753, dan kelarutan dalam etanol 90% sebesar 1:1. Terdapat 25 komponen kimia minyak atsiri biji pala dengan *pre-treatment* PEF dimana komponen *safole* mengalami penurunan sedangkan *myristicin* mengalami peningkatan. Kedua komponen tersebut merupakan senyawa khas dan penentu harga pada minyak atsiri pala.

Kata Kunci: *Biji Pala, Destilasi Uap-Air, Minyak Atsiri, Pulsed Electric Field,, Rendemen, Transfer Massa*

repository.ub.ac.id

KHAIRY FADHILAH. 145100300111021. *The Effect of Pulsed Electric Field (PEF) on Yield and Quality of Nutmeg Seed*
TA. Supervisor : Dr. Ir. Sukardi, MS. Co- Supervisor: Nur Lailatul Rahmah, S.Si, M.Si.

SUMMARY

Nutmeg (*Myristica fragrans*) is one of the native spice plants in Indonesia which has high economic value and multipurpose in the industry. One of the benefits is essential oils that can be obtained from seeds, mace, and nutmeg with the essential oil content ranging from 5-16% depending on the quality of the nutmeg plant itself. Extraction of nutmeg essential oil can be carried out by steam steam distillation method. Based on the results of previous studies, the distillation of nutmeg seeds for 6 hours resulted in a yield of 1.381%. The small yield from the distillation process requires preliminary treatment of the material by expanding the surface of the material and using pulsed electric fields (PEF). This study aims to determine the effect of time PEF and electric field used on the yield and quality of nutmeg seed oil and to know the right combination of PEF time and electric field to produce the best yield and quality.

This study uses 2-factor randomized block design (RBD). The first factor is the electric field (E) consisting of 3 levels (250 v/cm, 300 v/cm, and 350v/cm) and the second factor is the PEF time (t) which consists of 3 levels (3 minutes, 5 minutes, and 7 minutes). The experiment was repeated 3 times so there were 27 experimental units. Data processing and analysis is done using variance analysis or ANOVA (Analysis of Variant) with a 95% confidence interval. Selection of the best treatment using the De Garmo method.

Pre-treatment of PEF in nutmeg seeds causes damage to the nutmeg cell membrane due to the gate ion channel event. The best combination of electric field and long PEF treatment is an electric field of 350v/cm with a PEF 420 seconds. The results of the best treatment were an increase in mass transfer and yield up to 18,969% and 23,462% which had a specific gravity of 0,886, a refractive index of 1,47753, and a solubility of 90% at

1:1. There are 25 chemical components of nutmeg essential oil with PEF pre-treatment where the safrole component has decreased while myristicin has increased. Both components are typical compounds and price determinant of nutmeg essential oil.

Keyword: *Essential Oil, Mass Transfer, Nutmeg seed, Pulsed Electric Field, Steam Distillation, Yield*

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan karunianya-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Medan Listrik Berpulsa (PEF) Terhadap Hasil dan Kualitas Minyak Atsiri Biji Pala” dengan baik. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan pendidikan Strata 1 di jurusan Teknologi Industri Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya.

Penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah banyak memberi bantuan dan bimbingan dalam penyusunan Tugas Akhir ini, terutama kepada :

1. Kedua orang tua dan keluarga yang selalu memberikan dukungan moral dan materil serta doa sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir.
2. Dr. Ir. Sukardi, MS selaku dosen pembimbing 1 sekaligus pimpinan proyek yang mendanai proses penelitian, memberikan motivasi, ilmu pengetahuan, dan bimbingan sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir.
3. Nur Lailatul Rahmah, S.Si, M.Si selaku dosen pembimbing 2 yang telah memberikan motivasi, ilmu pengetahuan, serta bimbingan yang bermanfaat bagi penulis.
4. Dr. Sucipto, STP, MP selaku dosen penguji yang telah memberikan saran-saran dan kritik yang sangat membangun agar tugas akhir ini semakin bermanfaat.
5. Teman-teman semua yang telah membantu dan memberikan semangat serta dorongan dalam penyelesaian Tugas Akhir

Penulis menyadari dalam Tugas Akhir masih terdapat banyak kekurangan. Oleh sebab itu penulis mengharapkan kritik dan saran dari berbagai pihak. Demikian Tugas Akhir ini penulis buat, semoga dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Malang, September 2018
Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
RIWAYAT HIDUP	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	x
KATA PENGANTAR	xii
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tanaman Pala	5
2.2 Minyak Atsiri	6
2.3 <i>Pulse Electric Field</i> (PEF)	8
2.4 Destilasi	10
2.5 Perpindahan Massa	13
2.6 Penelitian Terdahulu	14
2.7 Hipotesa	15
BAB III. METODE PENELITIAN	17
3.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan	17
3.2 Alat dan Bahan	17
3.2.1 Alat	17
3.2.2 Bahan	17
3.3 Batasan Masalah	17
3.4 Rancangan Percobaan	18
3.5 Pelaksanaan Penelitian dan Pengumpulan Data	19
3.6 Analisa Fisik dan Kimia	22
3.6.1 Rendemen	22

3.6.2 Indeks Bias.....	22
3.6.3 Berat Jenis	22
3.6.4 Kelarutan dalam Etanol 90%	23
3.7 Perhitungan Transfer Massa	24
3.8 Pengolahan dan Analisis Data	24
3.9 Pemilihan Perlakuan Terbaik.....	24
3.10 Perbandingan Perlakuan Terbaik dengan Perlakuan Kontrol.....	25
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Perubahan Struktur Sel Akibat Perlakuan PEF.....	27
4.2 Pengaruh Perlakuan PEF terhadap Transfer Massa	35
4.3 Karakteristik Minyak Atsiri Biji Pala dengan <i>Pre-Treatment</i> PEF	35
4.3.1 Hasil Rendemen Minyak Atsiri Biji Pala	35
4.3.2 Hasil Berat Jenis Minyak Atsiri Biji Pala	38
4.3.3 Hasil Indeks Bias Minyak Atsiri Biji Pala	41
4.3.4 Hasil Kelarutan Minyak dalam Etanol 90% Minyak Atsiri Biji Pala	43
4.4 Perlakuan Kontrol	46
4.4.1 Komponen Kimia Perlakuan Kontrol	47
4.5 Perlakuan Terbaik.....	50
4.5.1 Komponen Kimia Perlakuan Terbaik.....	52
4.6 Perbandingan Perlakuan Terbaik dengan Perlakuan Kontrol	57
4.7 Neraca Massa	61
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	63
5.1 Kesimpulan	63
5.2 Saran.....	63
DAFTAR PUSTAKA.....	65
LAMPIRAN	73

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Syarat mutu minyak pala SNI (06-2388-2006).....	8
Tabel 3.1 Perlakuan Tegangan dan Jarak Anoda Katoda	18
Tabel 3.2 Kombinasi Perlakuan Penelitian.....	19
Tabel 4.1 Perbedaan Transfer Massa antara Perlakuan Tanpa <i>Pre-Treatment</i> PEF dengan Perlakuan <i>Pre- Treatment</i>	32
Tabel 4.2 Uji DMRT Medan Listrik terhadap Rata-Rata Rendemen	37
Tabel 4.3 Uji DMRT Lama PEF terhadap Rata-Rata Rendemen	37
Tabel 4.4 Uji DMRT Medan Listrik terhadap Rata-Rata Berat Jenis.....	40
Tabel 4.5 Uji DMRT Lama PEF terhadap Rata-Rata Indeks Bias	42
Tabel 4.6 Uji DMRT Medan Listrik terhadap Rata-Rata Kelarutan dalam Etanol 90 %.....	45
Tabel 4.7 Perlakuan Kontrol Minyak Atsiri Biji Pala	47
Tabel 4.8 Komponen Kimia Penyusun Minyak Atsiri Biji Pala Tanpa <i>Pre-Treatment</i> PEF	48
Tabel 4.9 Perbandingan Komponen Kimia Penyusun Minyak Atsiri Biji Pala Tanpa <i>Pre-Treatment</i> PEF dengan Standar ISO 3215-1998.....	50
Tabel 4.10 Minyak Atsiri Biji Pala Terbaik Pertama	52
Tabel 4.11 Minyak Atsiri Biji Pala Terbaik Kedua	52
Tabel 4.12 Komponen Kimia Penyusun Minyak Atsiri Biji Pala Perlakuan Terbaik Pertama (E3t3).....	53
Tabel 4.13 Komponen Kimia Penyusun Minyak Atsiri Biji Pala Perlakuan Terbaik Kedua (E3t2)	54
Tabel 4.14 Perbandingan Komponen Kimia Penyusun Minyak Atsiri Biji Pala Perlakuan Terbaik Pertama (E3t3) dengan Standar ISO 3215-1998	55
Tabel 4.15 Perbandingan Komponen Kimia Penyusun Minyak Atsiri Biji Pala Perlakuan Terbaik Kedua (E3t2) dengan Standar ISO 3215-1998)	56

Tabel 4.16 Perbandingan Karakteristik Perlakuan Terbaik
Pertama dan Kedua dengan Perlakuan Kontrol57

Tabel 4.17 Perbandingan Komponen Kimia Perlakuan Terbaik
Pertama dan Kedua dengan Perlakuan Kontrol59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Buah pala.....	5
Gambar 2.2 Bagian-bagian buah pala.....	6
Gambar 2.3 Alat <i>Pulsed Electric Field</i> (PEF)	9
Gambar 2.4 Alat destilasi uap-air	12
Gambar 3.1 Diagram alir proses destilasi minyak atsiri biji pala dengan perlakuan pendahuluan PEF.....	21
Gambar 4.1 Kenampakan Sel Biji Pala Perbesaran 10.000x ..	27
Gambar 4.2 Membran Sel	28
Gambar 4.3 Peristiwa Kanal Ion	29
Gambar 4.4 Peristiwa Elektroporasi pada Lipid Bilayer	30
Gambar 4.5 Grafik Rata-Rata Transfer Massa	33
Gambar 4.6 Grafik Rata-Rata Rendemen.....	35
Gambar 4.7 Grafik Rata-Rata Berat Jenis	39
Gambar 4.8 Grafik Rata-Rata Indeks Bias.....	41
Gambar 4.9 Grafik Rata-Rata Kelarutan dalam Etanol 90% ...	44
Gambar 4.10 Grafik Nilai Produk Total Tiap Perlakuan.....	51
Gambar 4.11 Perolehan Area Senyawa Kimia	60

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan Transfer Massa	73
Lampiran 2 Rendemen Minyak Atsiri Biji Pala	74
Lampiran 3 Perhitungan ANOVA Rendemen Minyak Atsiri Biji Pala	75
Lampiran 4 Berat Jenis Minyak Atsiri Biji Pala	78
Lampiran 5 Perhitungan ANOVA Berat Jenis Minyak Atsiri Biji Pala	79
Lampiran 6 Indeks Bias Minyak Atsiri Biji Pala	81
Lampiran 7 Perhitungan ANOVA Indeks Bias Minyak Atsiri Biji Pala	82
Lampiran 8 Kelarutan Minyak Atsiri Biji Pala dalam Etanol 90%	84
Lampiran 9 Perhitungan ANOVA Kelarutan Minyak Atsiri Biji Pala dalam Etanol 90%	85
Lampiran 10 Data Hasil Perlakuan Kontrol	87
Lampiran 11 Data Hasil GC-MS Perlakuan Kontrol	88
Lampiran 12 Pemilihan Perlakuan Terbaik	90
Lampiran 13 Data Hasil GC-MS Perlakuan Terbaik	93
Lampiran 14 Neraca Massa Perlakuan Terbaik	97
Lampiran 15 Dokumentasi penelitian	99

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang memiliki kekayaan alam berupa flora dan fauna yang sangat beragam. Di antara keragaman flora tersebut terdapat tanaman yang mengandung minyak atsiri dan tanaman yang menjadi bahan baku dalam proses pembuatan produk di berbagai industri. Salah satu jenis tanaman yang menghasilkan minyak atsiri adalah tanaman pala.

Tanaman pala (*Myristica fragrans*) merupakan tanaman rempah asli Indonesia yang memiliki nilai ekonomis dan multiguna karena banyak dimanfaatkan pada berbagai industri sebagai bahan baku industri obat-obatan, parfum, pembuatan sabun, dan pembuatan kosmetik. Selain sebagai rempah, tanaman pala juga berfungsi sebagai tanaman penghasil minyak atsiri. Minyak atsiri dapat diperoleh dari biji, fuli, dan daging buah pala (Agusta, 2009).

Salah satu minyak atsiri yang diminati oleh pasar internasional adalah minyak atsiri pala karena memiliki aktivitas antioksidan, antimikroba, dan antifungal. Dibuktikan dengan data dari Kementerian Pertanian tahun 2016 terhadap jumlah ekspor tanaman pala yang meningkat tiap tahunnya. Tahun 2009 ekspor buah pala yang terjadi adalah sebesar 13.067 ton, tahun 2010 sebesar 14.186 ton, tahun 2011 sebesar 14.985 ton, tahun 2012 sebesar 12.849 ton, tahun 2013 sebesar 13.552 ton, tahun 2014 sebesar 14.712 ton, dan 17.027 ton pada tahun 2015 (Badan Pusat Statistik, 2017). Peningkatan ekspor buah pala juga diikuti dengan peningkatan harga ekspor minyak atsiri pala. Data BPS tahun 2015 yang menyatakan bahwa harga ekspor minyak pala pada tahun 2009 adalah Rp 48.333.333,00/ kwintal dan terus meningkat hingga pada tahun 2015 harganya adalah sebesar Rp 52.500.000,00/ kwintal (Badan Pusat Statistik, 2017).

Harga ekspor minyak pala yang semakin meningkat tiap tahunnya menuntut masyarakat Indonesia sebagai salah satu penghasil pala terbesar di dunia untuk menghasilkan minyak pala yang banyak sebagai upaya dalam membantu

meningkatkan perekonomian bangsa. Minyak atsiri buah pala diperoleh melalui proses destilasi (penyulingan). Proses destilasi terdapat beberapa macam yaitu destilasi uap, destilasi air, dan destilasi uap air. Adapun jenis destilasi yang digunakan adalah destilasi uap air karena rendemen yang dihasilkan lebih optimal dibanding dengan destilasi air dan destilasi uap. Menurut Sipahelut (2012), penggunaan destilasi air menghasilkan minyak yang lebih sedikit dibanding dengan destilasi uap air karena pada destilasi air terdapat minyak yang kontak langsung dengan air yang menyebabkan minyak terhidrolisa membentuk asam dan alkohol.

Minyak atsiri tanaman pala dapat diperoleh dari daging buah, fuli, dan biji pala dengan kandungan minyak atsirinya berkisar 5-16% (Agusta, 2009). Proses destilasi uap air yang dilakukan selama 6 jam terhadap biji pala menghasilkan rendemen sebesar 1,381% (Suryatmi dkk., 2008). Hasil dari destilasi saja tidak menghasilkan rendemen yang maksimal sehingga diperlukan perlakuan pendahuluan terhadap buah pala itu sendiri. Perlakuan pendahuluan digunakan untuk menghasilkan minyak atsiri pala lebih maksimal. Salah satu perlakuan pendahuluan yang digunakan adalah pengaplikasian sistem kejutan listrik atau sering disebut dengan *Pulsed Electric Field* (PEF). PEF merupakan metode pengolahan pangan non termal yang menggunakan kejutan listrik dengan intensitas tinggi yang dipengaruhi oleh waktu paparannya. Menurut Siemer *et al.* (2012), PEF merupakan metode alternatif untuk meningkatkan laju difusi produk keluar dari jaringan tanaman pada saat proses ekstraksi. Sel yang dialiri listrik atau PEF ini memiliki lubang pada dinding selnya, yang mana lubang pada dinding sel tersebut dipengaruhi oleh medan listrik. Medan listrik ini sendiri dipengaruhi oleh besarnya tegangan dan jarak antar anoda katoda yang mana hubungan keduanya adalah berbanding terbalik.

Menurut Jiahui *et al.* (2009), medan listrik merupakan salah satu faktor yang dapat merusak dinding sel. Pada dasarnya sel itu sendiri memiliki medan listrik yang jika nilainya lebih besar dari pada medan listrik yang diberikan dari luar tidak akan memberikan pergerakan elektron yang berarti. Akan tetapi,

jika medan listrik dari luar sel lebih besar serta diberikan dalam waktu yang relatif lebih lama, mampu meningkatkan pergerakan elektron yang akan menyebabkan kerusakan pada dinding sel atau pecahnya dinding sel. Dinding sel yang pecah akan membuat cairan yang berada didalam sel (minyak atsiri) keluar. Khalili dan Ahmad (2015), juga menyatakan bahwa perubahan medan listrik yang berasal dari lingkungan dapat menyebabkan gaya adhesi antar sel sehingga mempermudah penetrasi uap air ke dalam jaringan tanaman pada saat destilasi dan jumlah minyak yang akan dikeluarkan semakin tinggi.

Penerapan PEF berguna untuk meningkatkan medan listrik yang berasal dari luar sel. Peningkatan medan listrik yang mampu memecahkan dinding sel juga dipengaruhi oleh waktu perlakuan yang diberikan terhadap bahan (Ribiero *et al.*, 2008). Fu'aida dkk. (2016), menyatakan bahwa hasil perlakuan terbaik dalam meningkatkan rendemen didapatkan pada waktu PEF yang lama dan tegangan yang tinggi yaitu pada tegangan 4,5 kV/cm dan waktu 20 detik. Adapun rata-rata rendemen yang diperoleh adalah 13,04%. Berdasarkan penjelasan tersebut, maka pada penelitian ini akan dicoba untuk meneliti pengaruh medan listrik dan lama paparan yang diberikan terhadap hasil dan kualitas minyak atsiri pala.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimanakah pengaruh medan listrik dan lama paparan PEF (*Pulsed Electric Field*) terhadap hasil dan kualitas minyak atsiri biji pala ?
2. Berapakah kombinasi perlakuan yang tepat antara besarnya medan listrik dan lama paparan PEF (*Pulsed Electric Field*) untuk meningkatkan hasil rendemen dan kualitas minyak atsiri biji pala ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh medan listrik dan lama paparan PEF (*Pulsed Electric Field*) terhadap hasil dan kualitas minyak atsiri biji pala.
2. Mengetahui kombinasi perlakuan yang tepat antara besarnya medan listrik dan lama paparan PEF (*Pulsed Electric Field*) untuk meningkatkan hasil rendemen dan kualitas minyak atsiri biji pala.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan informasi terkait destilasi minyak atsiri biji pala menggunakan perlakuan pendahuluan PEF (*Pulsed Electric Field*) dengan menggunakan metode destilasi uap dan air untuk meningkatkan kualitas dan rendemen minyak atsiri kepada masyarakat dan juga produsen minyak atsiri biji pala.
2. Memberikan informasi besarnya medan listrik dan lama paparan PEF (*Pulsed Electric Field*) yang tepat untuk meningkatkan kualitas dan rendemen minyak atsiri biji pala kepada produsen.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

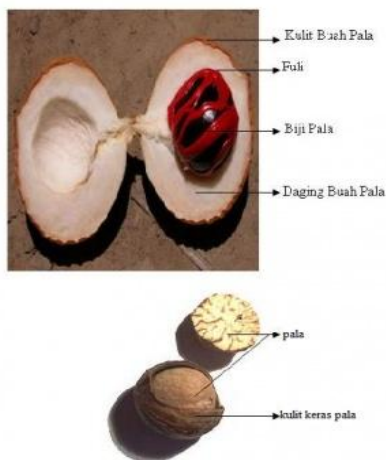
2.1 Tanaman Pala

Tanaman pala merupakan tanaman asli Indonesia yang termasuk kedalam kelas Angiospermae, subkelas dicotyledonae, ordo ranales, famili myristiceae dan myristica yang terdiri atas 15 genus dan 250 spesies (Agoes, 2010). Tanaman pala dapat hidup lebih dari 100 tahun dan dapat memiliki batang dengan tinggi 18 m dengan daun berbentuk lonjong. Tanaman pala tumbuh di daerah tropis yang memiliki ketinggian dibawah 700 m dari permukaan laut. Selain itu, tanaman ini juga dapat tumbuh di daerah yang beriklim lembab dan panas dengan curah hujan 2000-3500 mm tanpa ada periode kering yang signifikan (Nurdjannah, 2007).

Bagian tanaman pala yang biasanya dipanen adalah buah pala. Buah pala terdiri dari beberapa bagian yaitu kulit dan daging buah 77,8%, fuli 4%, kulit keras biji/tempurung 5,1%, dan biji pala 13,1% (Nurftriana, 2015). Buah pala dapat dipanen ketika tanaman berumur 7-9 tahun. Buah pala terdiri dari biji pala, selaput biji pala (fuli), dan daging buah. Bagian dari buah pala yang memiliki nilai ekonomi lebih tinggi adalah biji dan fulinya. Biji pala pada umumnya digunakan pada makanan manis dan kaya rempah seperti produk roti dan bumbu dalam masakan olahan daging serta digunakan pada produk minuman dan makanan penutup. Fuli biasanya digunakan sebagai bahan penambah cita rasa pada produk olahan berupa roti, sebagai bumbu pada masakan laut, pikel, dan juga digunakan pada minuman (Agoes, 2010). Berikut merupakan gambar buah pala dan bagian-bagian buah pala yang dapat dilihat pada **Gambar 2.1** dan **Gambar 2.2**



Gambar 2.1 Buah Pala



Gambar 2.2 Bagian-Bagian Buah Pala
Sumber: Jauzaa,2013

Buah pala banyak mengandung senyawa kimia yang bermanfaat bagi kesehatan. Kulit dan daging buah pala mengandung minyak atsiri dan zat samak. Fuli buah pala mengandung minyak atsiri, zat samak, dan zat pati. Pada bijinya sangat banyak kandungan minyak atsiri, miristin, saponin, elemisi, enzim lipase, pektin, lamonela, dan asam oleanolat. Sebagai besar zat kimia tersebut bermanfaat bagi kesehatan seperti mengobati masuk angin, insomnia, bersifat stomakik, karminatif, antiemetik, dan nyeri haid serta rematik (Sutomo, 2006). Selain minyak atsiri, buah pala juga mengandung komponen berupa *fixed oil* atau mentega pala yang bersifat tidak menguap. Mentega pala tersebut merupakan bahan yang larut dalam pelarut organik dan tidak dapat didestilasi (Idrus dkk., 2014).

2.2 Minyak Atsiri

Minyak atsiri merupakan minyak yang sering dikenal dengan minyak terbang. Pada suhu ruang, minyak atsiri mudah menguap tanpa mengalami proses dekomposisi. Selain itu, minyak atsiri memiliki rasa getir, berbau wangi sesuai dengan aroma tanaman penghasilnya, dan tidak larut dalam air tetapi

larut pada pelarut organik (Guenther, 1987). Minyak atsiri merupakan minyak nabati yang berwujud cairan kental pada suhu ruang dan bersifat mudah menguap. Minyak atsiri dapat dijadikan ciri khas dari suatu tumbuhan karena setiap tumbuhan menghasilkan aroma minyak atsiri yang berbeda, dimana minyak atsiri adalah hasil metabolit sekunder pada suatu tanaman. Minyak atsiri dapat diperoleh dari bagian tanaman seperti bunga, biji, daun, akar, batang, kulit kayu, atau kayu serta bagian lain yang dapat mengandung aroma tanaman penghasilnya. Beberapa komponen kimia yang terdapat pada minyak atsiri adalah terpen, alkohol, aldehid, dan ester (Yuliani, 2012).

Minyak pala adalah minyak atsiri yang diperoleh dari biji buah pala melalui cara penyulingan. Minyak pala tidak berwarna atau berwarna kuning dengan aroma dan rasa seperti pala, tidak larut dalam air, tetapi larut dalam alkohol (Elyana, 2014). Minyak atsiri biji pala merupakan salah satu komponen penentu kualitas biji pala. Kandungan minyak atsiri biji pala antar daerah berbeda karena terdapatnya perbedaan sifat genetik tanaman dan juga kesuburan tanah (Idrus dkk., 2014).

Menurut Bustaman (2008), biji pala muda mengandung minyak lebih tinggi daripada biji pala tua. Biji pala dengan umur panen 7 bulan memiliki kandungan minyak sebesar 7,95%-11,92% yang jumlahnya jauh lebih sedikit jika dibandingkan dengan biji pala yang memiliki umur panen 3-5 bulan. Adapun kadar rata-rata minyak biji pala adalah 13,07%. Nurdjannah (2007), mengatakan bahwa rendemen dan kualitas minyak pala dipengaruhi oleh faktor sebelum proses pemanenan dan setelah panen. Faktor pra panen meliputi varietas tanaman, cara budidaya, waktu panen, dan cara panen. Faktor pascapanen seperti penanganan bahan, cara penyulingan, pengemasan, dan transportasi. Kualitas minyak atsiri pala Indonesia telah distandarkan sesuai dengan No 2388-2006. Berikut syarat mutu minyak pala berdasarkan SNI 06-2388-2006 pada **Tabel 2.1**

Tabel 2.1 Syarat mutu minyak pala SNI (06-2388-2006)

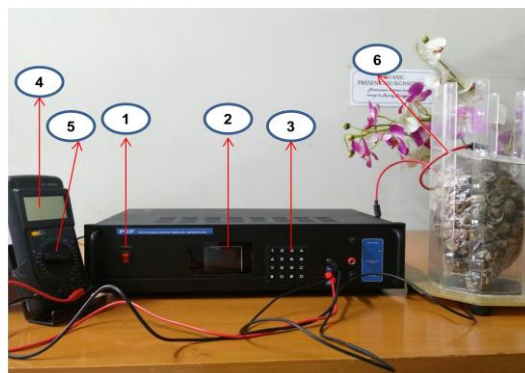
No	Jenis Uji	Satuan	Persyaratan
1	Warna	-	Tidak berwarna - kuning pucat
2	Bau	-	Khas minyak pala
3	Bobot jenis 20°C/20°C	-	0,880 – 0,910
4	Indeks bias (nD20)	-	1,470 – 1,497
5	Kelarutan dalam etanol 90%	-	1:3 jernih, seterusnya jernih
6	Putaran optic	-	(+) 8° – (+) 25°
7	Sisa penguapan	%	maksimum 2.0

Sumber : Badan Standarisasi Nasional, 2016

2.3 Pulsed Electric Field (PEF)

Pulsed Electric Field (PEF) atau medan listrik berpulsa dengan intensitas tinggi merupakan salah satu teknologi yang berkembang pada penelitian dibidang pangan. Hal ini didasarkan pada penerapan PEF yang menginduksi elektroporasi dari membran sel eukariot sehingga meningkatkan difusi zat terlarut (Yajun *et al.*, 2017). Medan pulsa listrik tegangan tinggi merupakan metode *non-termal* yang sering digunakan dalam pengawetan makanan. Prinsipnya adalah dengan menggunakan kuat medan listrik untuk menginaktivasi mikroba dan mengakibatkan pengaruh minimal atau sedikit terhadap kualitas bahan pangan (Ramaswamy *et al.*, 2009).

Menurut Siemer *et al.* (2012), PEF merupakan metode alternatif untuk meningkatkan laju difusi produk keluar dari jaringan tanaman pada saat proses ekstraksi. Sel yang dialiri listrik atau PEF memiliki lubang pada dinding selnya, yang mana lubang pada dinding sel tersebut dipengaruhi oleh medan listrik. Menurut Fortuny *et al.* (2009), penggunaan PEF sebagai perlakuan awal untuk memecah dinding sel tanaman sangat baik untuk mempertahankan bahan aromatis dari produk tersebut, karena penggunaan PEF hanya menyebabkan kehilangan aromatis bahan sebesar 3-9% sedangkan ketika dilakukan pemanasan akan hilang sebesar 22%. Berikut merupakan alat PEF yang akan digunakan pada **Gambar 2.3**



Gambar 2.3 Alat *Pulsed Electric Field* (PEF)

Keterangan :

1. Tombol power yang digunakan untuk menghidup atau mematikan alat PEF
2. LCD yang berguna untuk display inputan PEF
3. Tombol *keyboard* untuk mengatur masukan seperti frekuensi dan lama PEF.
4. LCD yang berguna untuk menunjukan nilai tegangan
5. Tombol yang digunakan untuk mengatur tegangan
6. Jarak antara katoda dan anoda

Menurut Jiahui, *et al.* (2009), sel sendiri memiliki medan listrik yang jika nilainya lebih besar dari pada medan listrik dari luar tidak menyebabkan pergerakan elektron yang berarti. Namun, jika medan listrik dari luar sel lebih besar serta diberikan dalam waktu yang relatif lebih lama, mampu meningkatkan pergerakan elektron yang menyebabkan kerusakan pada dinding sel atau pecahnya dinding sel yang menyebabkan keluarnya cairan (minyak atsiri) dari dalam sel tersebut. Menurut Raso *et al.* (2016), kekuatan medan listrik mengacu pada kekuatan medan yang ada pada *chamber* selama proses *treatment*. Tegangan yang diaplikasikan antara elektroda, geometri *chamber*, dan distribusi spasial sifat dielektrik material antar elektroda. Besarnya medan listrik yang mengalir didalam *chamber* dapat diperkirakan dengan membagi tegangan (U) yang melintasi antar elektroda dengan jarak elektroda (L) :

$$E = \frac{U}{L} \quad (1)$$

Besarnya kekuatan medan listrik menurut De Vito (2006) adalah sebagai berikut :

$$E = \frac{V}{d} \quad (2)$$

dimana V merupakan tegangan pada sampel dan d adalah jarak antara elektroda. Semakin tinggi gap maka semakin tinggi tegangan yang diperlukan untuk mendapatkan medan listrik yang diinginkan (bidang listrik kritis yang sesuai dengan kerusakan membran).

Ribiero, *et al.*, (2008) mengatakan bahwa peningkatan medan listrik yang mampu memecahkan dinding sel juga dipengaruhi oleh waktu paparan terhadap bahan. Fu'aida (2016), menyatakan bahwa penggunaan paparan PEF dengan waktu yang tepatmampu mempengaruhi perubahan struktur sel suatu bahan. Semakin lama paparan yang diberikan dengan pulsa tegangan tinggi pada suatu sel maka terjadi penurunan aktivitas sel yang menyebabkan membran sitoplasma sel menjadi rusak. Pemberian tegangan tinggi dan waktu yang sesuai akan membuat membran sel rusak dan tidak bisa diperbaiki lagi, sehingga proses keluar masuk senyawa mikromolekul yang berada dalam sel tersebut.

2.4 Destilasi

Destilasi merupakan metode pemisahan bahan kimia berdasarkan perbedaan volatilitas bahan. Pada destilasi, campuran zat dididihkan hingga menguap dan uap akan didinginkan kembali hingga terbentuk cairan. Zat yang memiliki titik didih yang lebih rendah menguap terlebih dahulu (Bangkaha, 2011). Walangare dkk (2013), juga mengungkapkan bahwa destilasi merupakan suatu proses perubahan cairan menjadi uap. Uap tersebut didinginkan kembali menjadi cairan. Destilasi merupakan metode untuk memisahkan komponen yang terdapat dalam suatu campuran. Destilasi tergantung pada distribusi komponen antara fasa uap dan fasa cair. Kemudian, Effendi dan Widjanarko (2014), menyatakan bahwa proses destilasi merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menghasilkan minyak atsiri dengan prinsip untuk mengisolasi

atau memisahkan dua zat atau lebih komponen zat cair yang didasarkan pada titik didih.

Destilasi merupakan metode khusus yang digunakan untuk memisahkan bahan atau material yang sensitif terhadap temperatur seperti senyawa organik (Rizal, 2010). Proses penyulingan atau destilasi terdapat tiga cara yaitu penyulingan dengan air, penyulingan dengan air dan uap serta penyulingan dengan uap (Guenther, 2006) :

a. Penyulingan dengan Air (*Water Distillation*)

Ciri khas dari metode penyulingan dengan air adalah terjadinya kontak langsung antara bahan dan air mendidih. Bahan yang digunakan mengapung diatas air atau terendam sempurna tergantung pada bobot jenis dan jumlah bahan yang disuling. Jenis bahan yang biasa disuling dengan proses ini adalah bahan berbentuk bubuk seperti bubuk buah, bunga mawar, dan *orange blossom*.

b. Penyulingan dengan Air dan Uap (*Water and Steam Distillation*)

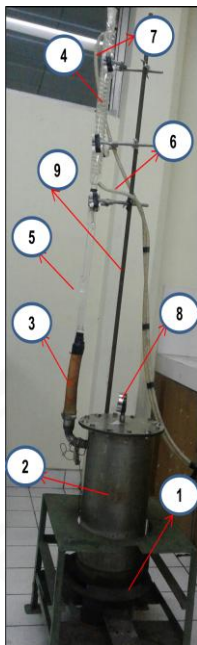
Metode penyulingan dengan air dan uap bahan ditempatkan pada rak-rak atau saringan berlubang. Ketel suling diisi dengan air hingga permukaan air tidak berada jauh dibawah saringan. Ciri khasnya adalah uap selalu dalam keadaan jenuh dan tidak terlalu panas, bahan yang disuling hanya berhubungan dengan uap dan tidak mengenai air panas. Bahan yang biasanya disuling dengan metode ini adalah jenis daun, akar, dan batang.

c. Penyulingan dengan Uap (*Steam Distillation*)

Penyulingan ini dilakukan dengan menggunakan uap jenuh atau uap yang kelewat panas pada tekanan lebih dari 1 atm. Uap yang digunakan untuk memanasi bahan dibentuk dari peralatan *boiler*. Uap yang terbentuk dialirkan melalui pipa uap melingkar berpori yang terletak dibawah bahan, kemudian uap bergerak ke atas melewati bahan yang terletak diatas saringan.

Menurut Yuliarto dkk. (2012), destilasi yang baik untuk penyulingan minyak adalah destilasi uap-air karena penempatan bahan baku yang akan diambil minyaknya terpisah dengan air pembawa, sehingga pengupan air dan minyak pada bahan tidak

berlangsung secara bersamaan. Destilasi uap-air akan menghasilkan rendemen yang lebih tinggi serta presentase senyawa yang terdapat didalam minyak hasil destilasinya mempunyai nilai yang besar dari pada minyak hasil destilasi air, sehingga dapat disimpulkan destilasi uap-air lebih unggul dibandingkan destilasi air karena proses dekomposisi minyak lebih sedikit. Berikut merupakan contoh alat destilasi uap-air pada **Gambar 2.4**



Gambar 2.4 Alat destilasi Uap-Air

Keterangan :

1. Kompor
2. Tempat buah pala
3. Saluran tempat keluarnya destilat (minyak atsiri dan air)
4. *Clevenger*
5. Saluran penampung minyak atsiri dan kran
6. Selang air masuk ke pendingin balik
7. Selang air keluar dari pendingin balik
8. Termometer
9. *Clevenger*

2.5 Perpindahan Massa

Perpindahan massa atau *mass transfer* merupakan perpindahan salah satu unsur dari daerah yang konsentrasinya tinggi ke daerah dengan konsentrasi rendah. Sebagian besar mekanisme perpindahan massa bergantung pada dinamika fasa-fasa fluidanya. Hukum yang berkaitan erat dengan perpindahan massa adalah hukum Ficks, yang menyatakan bahwa fluks massa dari suatu konstituen per satuan luas berbanding lurus dengan gradien suhu. Berikut merupakan persamaan hukum Ficks (Rohmawati, 2013) :

$$\frac{NA}{A} = -D \frac{\delta CA}{\delta X} \quad (3)$$

Dimana D merupakan konstanta proporsionalitas (tetapan kesebandingan) atau koefisien difusi, NA adalah fluks massa persatuan waktu, dan CA merupakan konsentrasi massa komponen A persatuan volume (Rohmawati, 2013).

Mc Cabe *et. al.* (2005), menyatakan bahwa untuk mencapai titik kesetimbangan, perpindahan massa terjadi secara perlahan dari fase berkonsentrasi tinggi dan berdifusi ke fase memiliki konsentrasi rendah. Setiawan (2012), menyatakan bahwa perpindahan massa dari konsentrasi yang tinggi menuju konsentrasi yang rendah di dalam material. Dalam rekayasa, permukaan atom pendonor diaktivasi sehingga mampu menembus permukaan material. Proses difusi tersebut dapat dihitung menggunakan hukum Fick I dan hukum Fick II. Persamaan hukum Fick I dan Fick II dalam satu dimensi dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$J = -D \frac{\partial C}{\partial x} \quad (4)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (5)$$

dengan J merupakan flux difusi ($\text{kg/m}^2\text{s}$), D adalah koefisien difusi (m^2/s), C adalah konsentrasi (kg/m^3), dan x merupakan kedalaman difusi (m) serta t merupakan waktu proses difusi (s).

Marliani (2016), menyatakan bahwa transfer massa secara difusi terjadi karena pencampuran spontan dari molekul-

molekul akibat adanya perbedaan. Perbedaan tersebut dapat berupa perbedaan suhu, perbedaan tekanan, dan perbedaan konsentrasi. Suatu molekul dalam satu fasa akan selalu berdifusi dari konsentrasi yang tinggi ke konsentrasi yang rendah, hingga tercapai konsentrasi yang sama. Difusi yang terjadi dapat dihitung melalui persamaan berikut :

$$N_A = -C \times D_{AB} \times \frac{dX_A}{dz} \quad (6)$$

dengan N_A merupakan flux difusi ($\text{g/cm}^2\text{s}$), D adalah koefisien difusi (cm^2/s), C adalah total konsentrasi (g/cm^3), dan X_A merupakan mol fraksi serta Z merupakan jarak (m). Persamaan tersebut biasanya digunakan pada difusi uap dan cairan pada kolom destilasi.

2.6 Penelitian Terdahulu

Sukardi dkk. (2015), pada penelitiannya berpendapat bahwa *Pulsed Electric Field* (PEF) merupakan salah satu perlakuan pendahuluan yang sedang berkembang. Penggunaan PEF pada penelitian ini adalah untuk menentukan dampak dari medan listrik berdenyut pada kerusakan sel kelenjer trikoma dari daun nilam. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa besarnya medan listrik yang digunakan lebih berpengaruh dari pada penggunaan frekuensi PEF terhadap kerusakan kelenjer trikoma daun nilam. Medan listrik yang optimal bernilai 125 V/cm, Sukardi dkk. (2013), pada penelitiannya yang bertujuan untuk mengetahui efek penggunaan PEF pada pembukaan atau kerusakan dinding sel jaringan trikoma pada daun nilam dapat meningkatkan rendemen minyak nilam dan memperbaiki senyawa minyak nilam tersebut. Hasil optimal didapat pada pengaplikasian PEF dengan medan listrik 100 V/cm selama 2 detik yang mampu meningkatkan rendemen hingga 35%.

Tegangan tinggi dan lama paparan PEF akan memberikan pengaruh terhadap kerusakan fisik sel. Penggunaan PEF sebagai perlakuan pendahuluan pada ekstraksi biji pinang sebagai sumber antioksidan alami mampu meningkatkan rendemen dan menurunkan nilai IC50 biji pinang. Hasil dari penggunaan PEF pada penelitian ini adalah

peningkatan rendemen terjadi pada medan listrik 4,5 kV/cm selama 20 detik dengan rendemen rata-rata sebesar 13,04 % dan aktivitas antioksidan yang dihasilkan 13,75 ppm (Fu'aida dkk., 2016). Yajun dkk. (2017), pada penelitiannya tentang kombinasi perlakuan PEF dengan destilasi minyak atsiri mawar berpendapat bahwa parameter intensitas medan listrik, jumlah pulsa, dan waktu destilasi sangat mempengaruhi efisiensi proses ekstraksi. Hasil yang optimal dari ekstraksi minyak atsiri mawar ini adalah dengan pemberian intensitas medan listrik 20kV/cm, jumlah pulsa 8, dan waktu penyulingan 2 jam.

2.7 Hipotesa

Diduga terdapat pengaruh penggunaan waktu paparan PEF (*Pulsed Electric Field*) dan besarnya medan listrik yang digunakan terhadap rendemen dan kualitas minyak biji pala.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Desember 2017 sampai Juli 2018. Penelitian bertempat di Laboratorium Teknologi Agro Kimia Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya. Pengujian GCMS yang bertempat di Laboratorium Sentral Hayati dan Mineral FMIPA, Universitas Negeri Malang, Malang.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Proses destilasi minyak atsiri biji pala menggunakan beberapa peralatan. Adapun peralatan tersebut adalah perangkat PEF (*Pulsed Electric Field*), destilator, botol kaca, piknometer, pipet tetes, timbangan digital, gelas ukur, labu kocok, dan refraktometer. Kemudian peralatan GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectrometer*) dan peralatan uji SEM (*Scanning Electron Microscopy*).

3.2.2 Bahan

Bahan utama yang digunakan pada proses destilasi ini adalah biji buah pala yang akan disuling minyak atsirinya. Kemudian air yang digunakan sebagai media pada saat proses destilasi berlangsung. Etanol 90%, AgNO_3 , NaCl , HNO_3 , untuk uji kelarutan dan aquades untuk uji berat jenis, serta alkohol untuk uji indeks bias. Kemudian, LPG sebagai bahan bakar pada proses destilasi.

3.3 Batasan Masalah

1. Penelitian yang dilakukan bersifat skala laboratorium.
2. Biji pala yang digunakan berasal dari Provinsi Bandar Lampung.
3. Biji pala yang digunakan merupakan biji pala yang telah diremahkan
4. Diameter *chamber* PEF yang digunakan adalah 11 cm
5. Besar frekuensi PEF yang digunakan sebesar 1500 Hz.
6. Besar tegangan PEF yang digunakan sebesar 5000 volt, 4500 volt, dan 3500 volt.

7. Jarak anoda dan katoda PEF yang digunakan adalah 10cm, 15cm, dan 20cm.
8. Proses destilasi dilakukan selama 10 jam.
9. Analisa kandungan kimia minyak biji pala dilakukan pada hasil perlakuan terbaik dan perlakuan kontrol (*non*-PEF).

3.4 Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Kelompok (RAK) menggunakan 2 faktor. Faktor pertama adalah besarnya medan listrik PEF (*Pulsed Electric Field*) yang terdiri dari 3 level (250 v/cm, 300 v/cm, dan 350v/cm) dan faktor kedua adalah waktu paparan PEF (*Pulsed Electric Field*) yang terdiri dari 3 level (180 detik, 300 detik, dan 420 detik). Faktor medan listrik tersebut diperoleh dari perbedaan tegangan dan jarak anoda katoda yang digunakan. Besarnya tegangan dan jarak anoda katoda yang digunakan sehingga menghasilkan medan listrik tersebut dapat dilihat pada **Tabel 3.1**

Tabel 3.1 Perlakuan Tegangan dan Jarak Anoda Katoda

Tegangan (v)	Jarak Anoda Katoda (cm)	Medan Listrik (v/cm)
5000	20	250
4500	15	300
3500	10	350

Faktor lama paparan dan besarnya medan listrik memberikan 9 kombinasi perlakuan yang dapat dilihat pada **Tabel 3.2**. Setiap perlakuan dilakukan ulangan sebanyak 3 kali sehingga diperoleh total perlakuan sebanyak 27 perlakuan. Adapun faktor tersebut adalah sebagai berikut :

Faktor I : Besar medan listrik PEF (*Pulsed Electric Field*)

E1 : 250v/cm

E2 : 300v/cm

E3 : 350v/cm

Faktor II : Waktu paparan PEF (*Pulsed Electric Field*)

T1 : 180 detik

T2 : 300 detik

T3 : 420 detik

Tabel 3.2 Kombinasi Perlakuan Penelitian

Medan Listrik	Waktu Paparan PEF		
	T1	T2	T3
E1	E1t1	E1t2	E1t3
E2	E2t1	E2t2	E2t3
E3	E3t1	E3t2	E3t3

Keterangan :

E1T1 : medan listrik 250v/cm dengan waktu paparan PEF 180 detik

E1T2 : medan listrik 250v/cm dengan waktu paparan PEF 300 detik

E1T3 : medan listrik 250v/cm dengan waktu paparan PEF 420 detik

E2T1 : medan listrik 300v/cm dengan waktu paparan PEF 180 detik

E2T2 : medan listrik 300v/cm dengan waktu paparan PEF 300 detik

E2T3 : medan listrik 300v/cm dengan waktu paparan PEF 420 detik

E3T1 : medan listrik 350v/cm dengan waktu paparan PEF 180 detik

E3T2 : medan listrik 350v/cm dengan waktu paparan PEF 300 detik

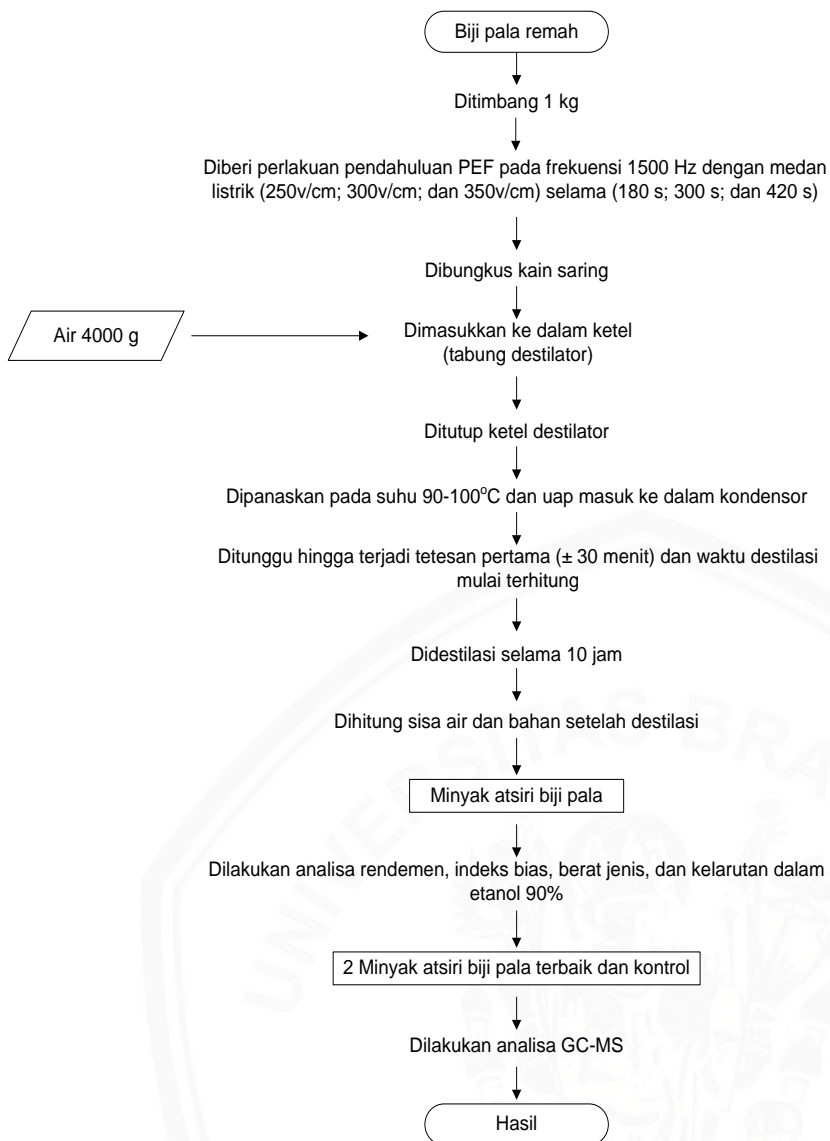
E3T3 : medan listrik 350v/cm dengan waktu paparan PEF 420 detik

3.5 Pelaksanaan Penelitian dan Pengumpulan Data

Penelitian yang dilakukan terdiri dari satu penelitian utama, yaitu pelaksanaan destilasi uap air pada biji pala yang telah diberikan paparan PEF sesuai dengan faktor yang telah ditentukan. Diagram alirnya dapat dilihat pada **Gambar 3.1** sedangkan tahap penelitiannya adalah sebagai berikut :

1. Menimbang bahan baku yang diambil minyak atsirinya yaitu biji pala remah sebanyak 1 kg atau 1000 gram.
2. Memberikan perlakuan PEF terhadap biji pala seberat 1 kg dengan frekuensi 1500Hz dan medan listrik (250 v/cm, 300 v/cm, dan 350 v/cm) selama (180 detik, 300 detik, dan 420 detik)
3. Menyiapkan ketel destilator dengan menambahkan 4000 g air yang digunakan sebagai media penghasil uap yang mengekstrak minyak atsiri yang berada didalam biji pala.
4. Memasang saringan ketel pada bagian tengah yang bertujuan untuk memberi pembatas antara air dan biji pala yang didestilasi air dan uap. Setelah dipasang, biji pala sejumlah 1000 g dimasukkan kedalam ketel.
5. Menutup ketel dengan penutup berbahan besi yang dilengkapi dengan karet pada bagian sampingnya yang berguna untuk mencegah kebocoran uap air ke udara

- bebas. Selain itu, penutup juga dilengkapi dengan penahan berupa sekrup agar penutup dapat menutup ketel dengan rapat.
6. Menyiapkan semua komponen berupa kondensor yang berguna untuk mengubah uap menjadi cairan kembali.
 7. Memasang alat pemanas berupa kompor yang digunakan sebagai energi untuk pemicu pembentukan uap dari air yang terdapat didalam ketel.
 8. Menyalakan kompor sebagai alat pemanas hingga suhu di dalam ketel berkisar 90-100 °C. Pemanasan dilakukan selama 10 jam yang terhitung mulai terbentuknya uap air dan minyak atsiri yang diarahkan menuju kondensor.
 9. Uap yang menuju kondensor akan diubah menjadi cairan kembali yang akan mengalir menuju tempat penampungan minyak atsiri. Minyak atsiri biji pala yang dihasilkan menuju ke tempat penampung dan air hasil dari destilasi akan masuk kembali menuju ketel yang akan diproses kembali menjadi uap.
 10. Melakukan analisa terhadap minyak atsiri yang diperoleh. Analisa yang dilakukan adalah analisa rendemen, indeks bias, berat jenis, dan kelarutan dalam etanol. Analisa ini bertujuan untuk mendapatkan perlakuan yang terbaik yang dilakukan selama proses pengujian.
 11. Minyak atsiri biji pala hasil perlakuan terbaik akan di analisa komponen kimianya menggunakan GC-MS.



Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Destilasi Minyak Atsiri Biji Pala dengan Perlakuan Pendahuluan PEF

3.6 Analisa Fisik dan Kimia

Pengujian sifat fisik dan kimia yang dilakukan terhadap minyak atsiri biji pala dilakukan sesuai dengan standar nasional Indonesia, yaitu SNI 06-2388-2006. Sifat fisik yang diuji dari minyak atsiri biji pala ini diantaranya adalah indeks bias, dan berat jenis. Sifat kimia yang diuji adalah kelarutan dalam etanol. Selain itu, juga dilakukan perhitungan rendemen yang dihasilkan dari tiap proses penyulingan.

3.6.1 Rendemen

Pengujian terhadap rendemen dilakukan untuk mengetahui efisiensi proses destilasi minyak biji pala. Uji rendemen pada minyak pala dilakukan dengan menghitung persentase minyak pala yang dihasilkan dibandingkan dengan tiap satuan berat biji pala yang digunakan. Rumus dalam perhitungan rendemen tersebut adalah sebagai berikut (SNI, 2006) :

$$\text{Rendemen} = \frac{\text{berat minyak yang dihasilkan}}{\text{berat biji pala yang digunakan}} \times 100\% \quad (7)$$

3.6.2 Indeks Bias

Indeks bias minyak atsiri merupakan perbandingan antara kecepatan cahaya dalam udara dengan kecepatan cahaya dalam suatu zat pada suhu tertentu. Penentuan indeks bias didasarkan pada perbandingan sinus sudut datang dengan sinus sudut bias. Pengukuran indeks bias dilakukan dengan menggunakan alat *refractometer*. Prosedur kerjanya adalah sebagai berikut (SNI, 2006) :

1. Membersihkan prisma refraktometer dengan alkohol.
2. Meneteskan minyak yang akan diukur indeks biasnya diatas prisma refraktometer, prisma dirapatkan dan dibiarkan beberapa saat supaya suhu alat dan minyak merata.
3. Membaca indeks bias pada skala refraktometer setelah diperoleh garis batas antara terang dan gelap yang jelas dan membentuk titik potong dua garis yang bersilangan.

3.6.3 Berat Jenis

Berat jenis atau bobot jenis merupakan metode yang dilakukan untuk menentukan kemurnian suatu minyak. Prinsip

yang digunakan pada pengujian adalah perbandingan antara kerapatan minyak terhadap kerapatan air suling di suhu yang sama dengan menggunakan piknometer. Prosedur kerjanya adalah sebagai berikut (SNI, 2006) :

1. Membersihkan piknometer dengan alkohol dan dikeringkan.
2. Menimbang piknometer yang telah bersih dan kering.
3. Mengisi piknometer dengan aquades hingga melebihi tanda tera pada piknometer. Kemudian ditutup dan dihindari dari gelembung-gelembung udara.
4. Membersihkan dan mengeringkan bagian luar piknometer dari bahan yang menempel.
5. Menimbang piknometer yang telah berisi aquades.
6. Membersihkan kembali piknometer.
7. Memasukkan minyak atsiri biji pala kedalam piknometer yang telah bersih hingga tanda tera.
8. Menimbang piknometer yang telah berisi minyak atsiri.
9. Melakukan perhitungan berat jenis dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$BJ = \frac{\text{bobot minyak+piknometer} - (\text{bobot piknometer kosong})}{\text{bobot piknometer+air} - (\text{bobot piknometer kosong})} \quad (8)$$

3.6.4 Kelarutan dalam Etanol

Kelarutan dalam etanol merupakan kemampuan larutnya minyak atsiri biji pala terhadap etanol pada kondisi tertentu yang dinyatakan dalam perbandingan pada keadaan jernih. Konsentrasi etanol yang digunakan adalah 90%. Prosedur pengukuran kelarutan dalam etanol adalah sebagai berikut (SNI, 2006) :

1. Mengambil sampel minyak atsiri biji pala sebanyak 1 ml dan memasukkannya kedalam tabung reaksi.
2. Menambahkan etanol 90% sebanyak 1 ml lalu dikocok
3. Menambahkan etanol terus dilakukan sebanyak 1 ml tiap proses penambahan hingga minyak larut dan kondisi larutan jernih
4. Perbandingan antara minyak dan etanol yang ditambahkan merupakan kelarutan dalam etanol dari minyak tersebut.

3.7 Perhitungan Transfer Massa

Perhitungan transfer massadigunakan untuk menentukan jumlah perubahan massa yang dialami biji pala setelah proses destilasi. Menurut Marliani (2016), perhitungan transfer massa dihitung berdasarkan persamaan 6 :

$$N_A = -C \times D_{AB} \times \frac{dX_A}{dz}$$

Keterangan :

N_A : Jumlah mol A pada satuan waktu dan luas $\left\{ \frac{\text{mol A}}{\text{waktu} \cdot \text{luas}} \right\}$

C : Total konsentrasi $\left\{ \frac{\text{mol (A+B)}}{\text{Volume}} \right\}$

D_{AB} : Difusi komponen A pada B $\left\{ \frac{\text{luas}}{\text{waktu}} \right\}$

X_A : Mol fraksi $\left\{ \frac{\text{mol A}}{\text{mol (A+B)}} \right\}$

z : jarak {panjang}

3.8 Pengolahan dan Analisis Data

Pengolahan dan analisis data dilakukan dengan menggunakan ANOVA (*Analysis Of Variant*) atau analisis ragam. Analisis ragam digunakan untuk melihat interaksi pada tiap faktor. Jika terdapat interaksi atau terdapat faktor yang berpengaruh secara nyata maka dilakukan uji DMRT (*Duncan Multiple Range Test*). Selang kepercayaan yang digunakan adalah 95% atau $\alpha = 0,05$.

3.9 Pemilihan Perlakuan Terbaik

Perlakuan terbaik kombinasi medan listrik dan paparan PEF dilakukan dengan menggunakan metode De Garmo. Prosedur penentuan dengan metode ini adalah sebagai berikut (De Garmo,1994) :

1. Memisahkan data kualitatif dengan data kuantitatif
2. Melakukan pembobotan.

Pemberian bobot dilakukan pada setiap parameter pada masing-masing kelompok. Bobot diberikan sesuai dengan tingkat kepentingan parameter

3. Menghitung bobot nilai (BN)

$$BN = \frac{\text{Bobot perlakuan}}{\text{Jumlah total bobot}} \quad (9)$$

4. Menghitung nilai efektifitas (NE)

$$NE = \frac{\text{Nilai hasil pengukuran} - \text{Nilai terburuk}}{\text{Nilai terbaik} - \text{Nilai terburuk}} \quad (10)$$

5. Menghitung nilai produk (NP)

$$NP = NE \times BN \quad (11)$$

6. Menjumlahkan total nilai produk (NP)

Perlakuan yang memiliki nilai produk tertinggi merupakan perlakuan terbaik pada kelompok parameter yang bersangkutan

Hasil perlakuan terbaik tersebut dianalisa kandungan minyak atsirinya. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kandungan minyak atsiri biji pala. Proses analisa dilakukan menggunakan alat GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectrometer*).

3.10 Perbandingan Perlakuan Terbaik dengan Perlakuan Kontrol

Perlakuan terbaik yang telah diperoleh dibandingkan dengan perlakuan kontrol (*non-PEF*). Adapun parameter yang dibandingkan adalah rendemen, indeks bias, berat jenis, kelarutan dalam etanol 90%, dan kandungan kimia pada minyak atsiri yang telah dihasilkan. Perbandingan bertujuan untuk mengetahui adanya perubahan hasil dan kualitas minyak atsiri biji pala yang terjadi antara biji pala yang diberikan perlakuan PEF dan tanpa perlakuan PEF.



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perubahan Struktur Sel Akibat Perlakuan *Pulsed Electric Field* (PEF)

Perubahan struktur sel biji pala terjadi pada dinding selnya. Perubahan struktur sel biji pala dengan *treatment* PEF dan tanpa *treatment* PEF dapat dilihat pada **Gambar 4.1**. Berdasarkan **Gambar 4.1** (a) dapat dilihat bahwa pada biji tanpa perlakuan PEF memiliki jaringan masih utuh dan tidak ditemui kerusakan berarti, sedangkan (b) pada biji pala dengan perlakuan PEF ditemukan kerusakan struktur jaringan yang masif. Perlakuan PEF dapat merusak membran sel dalam biji pala, sehingga jika dilakukan proses ekstraksi, minyak atsiri yang terdapat di dalam sel akan keluar secara maksimal dan meningkatkan rendemen yang dihasilkan.

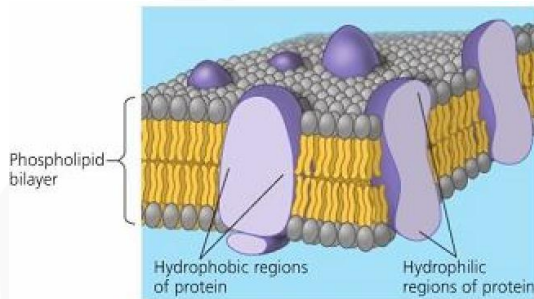


Gambar 4.1 Kenampakan sel biji pala perbesaran 10.000x (a) sebelum PEF, (b) sesudah PEF

Secara umum, minyak atsiri dibentuk dalam sitoplasma yang merupakan hasil metabolisme tanaman berbentuk butiran kecil diantara sel yang bersifat volatil dan beraroma. Selain itu, minyak atsiri juga terletak dalam vakuola yang juga memiliki fungsi sebagai tempat penyimpanan cadangan makanan. Dhaniaputri (2015), menyatakan bahwa vakuola adalah bagian dari sel yang berisi cairan dan sebelah luarnya dibatasi oleh membran tonoplas. Cairan dalam vakuola terdiri dari berbagai macam bahan organik dan anorganik seperti garam, gula, asam amino pembentuk protein, fosfat, dan senyawa hasil metabolit

sekunder seperti alkaloid, terpen, tanin, dan flavonoid. Irawati (2014), mengatakan bahwa keluarnya cairan dari dalam vakuola terjadi ketika membran sel vakuola atau tonoplas melebur dengan membran plasma yang kemudian akan mengeluarkan cairannya melalui membran plasma tersebut.

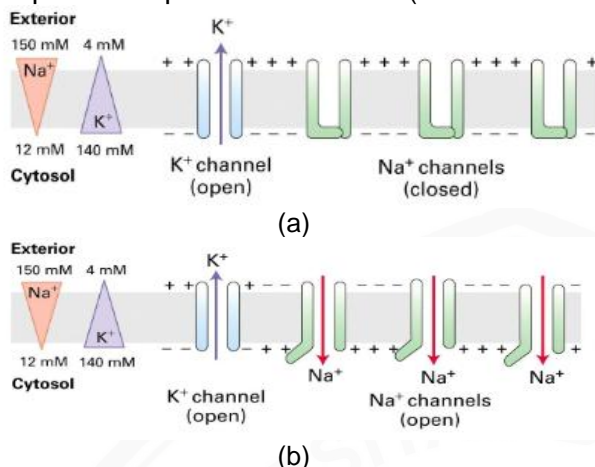
Vakuola dan sitoplasma terdapat di dalam sel yang dilindungi oleh membran dan dinding sel. Unsur utama membran sel adalah lipid (fosfolipid) dan protein. Lipid terdiri dari 2 lapisan atau *bilayer* yaitu bagian kepala (hidrofilik) dan bagian ekor (hidrofobik). Kenampakan membran sel dapat dilihat pada **Gambar 4.2**. Membran sel merupakan lapisan sel yang bersifat selektif permeabel atau hanya bisa dilewati oleh molekul tertentu seperti H_2O . Pada sel terdapat kation seperti K^+ dan Na^+ , yang mana konsentrasi dari K^+ lebih tinggi didalam membran sel sedangkan konsentrasi Na^+ lebih tinggi di luar membran sel. Sisi dalam sel cenderung bersifat negatif dibandingkan dengan sisi luar sel yang mengindikasikan adanya potensial membran akibat tegangan yang dimiliki oleh setiap sel (Chambell *et al.*, 2004).



Gambar 4.2 Membran sel
Sumber : Chambell *et al.*, 2004

Tegangan sel mempengaruhi pergerakan ion yang terdapat di dalam sel tersebut. Jika suatu sel diberikan tegangan tinggi dari luar, maka ion yang di dalam sel akan teraktivasi yang menyebabkan terjadinya *gate ion channels*. Peristiwa *get ion channel* dapat terjadi ketika kanal Na^+ pada sel terbuka dan natrium yang berada di luar sel akan masuk ke dalam sel

(perpindahan dari konsentrasi tinggi ke rendah). Bagian dalam sel akan mengalami depolarisasi atau terjadinya perbedaan polaritas antara sisi dalam dan luar pada membran sel akibat beda potensial. Perbedaan potensial yang terjadi mengakibatkan kanal K^+ terbuka dan kanal Na^+ menutup. Kanal K^+ yang terbuka menyebabkan ion kalium keluar dari dalam sel kemudian mengembalikan potensial dan polaritas membran sel seperti keadaan semula atau terjadi repolarisasi. Proses terjadinya kanal ion dapat dilihat pada **Gambar 4.3** (Chambell *et al.*, 2004).

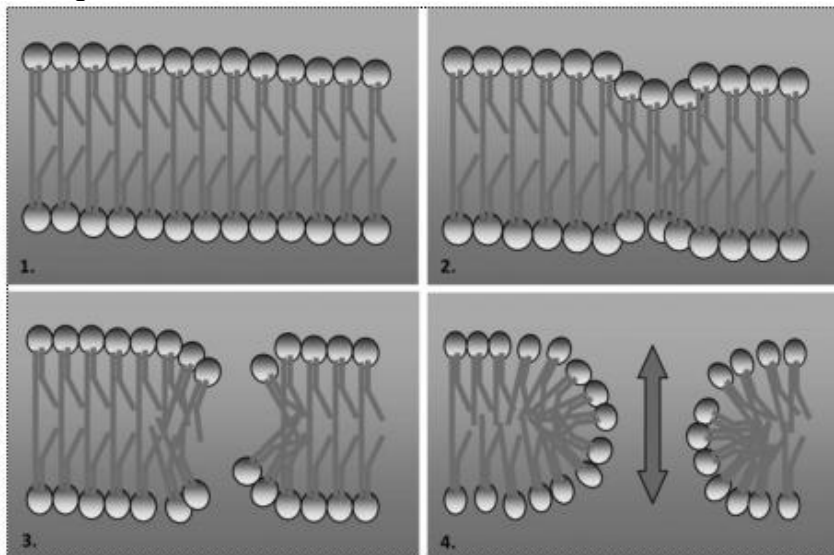


Gambar 4.3 Peristiwa kanal ion (a) kondisi depolarisasi, (b) kondisi repolarisasi

Sumber : Chambell *et al.*, 2004

Membran sel yang bersifat semi permeabel memiliki medan listrik alami dan dianggap sebagai kapasitor alami dari sel (Singh dan Heldman, 2001). Perubahan struktur sel biji pala pada **Gambar 4.1** terjadi ketika sampel (biji pala) mengalami medan listrik eksternal lebih besar dari medan listrik di dalam sel, sehingga terjadi perubahan muatan listrik dan reorganisasi fosfolipid bilayer, representasi diagramnya dapat dilihat pada **Gambar 4.4**. Fenomena ini dapat menyebabkan rusaknya membran sel yang sering disebut dengan elektroporasi (Baier *et al.*, 2001). Jiauhi *et al.* (2009) juga mengatakan bahwa pecahnya dinding sel akan mengakibatkan cairan yang terdapat

di dalam sel keluar (elektroporasi). Elektroporasi terjadi karena medan listrik di luar sel lebih besar dan diberikan pada kurun waktu yang lama, mengakibatkan gerakan elektron semakin cepat dan kuat hingga menyebabkan kerusakan atau pecahnya dinding sel.



Gambar 4.4 Peristiwa elektroporasi pada lipid bilayer (1) Membran sel dalam kondisi normal (2) Dinding sel menipis (3) Kerusakan dinding sel masih dapat pulih (*reversible*) (4) Kerusakan dinding sel bersifat permanen (*irreversible*)

Sumber : Schiffo *et al.*, 2016

Donsi *et al.* (2010), menyatakan bahwa elektroporasi pada sel tanaman dapat meningkatkan ekstraksi metabolit intraseluler berdasarkan permeabilitas bukan hanya pada membran sel, tetapi juga terhadap vakuola dimana metabolit berada. Zvitov *et al.* (2003) pada penelitiannya mengungkapkan bahwa penerapan teknologi PEF aliran *direct current* (DC) pada *B. vulgaris* menunjukkan adanya kebocoran betanin (pigmen merah yang terdapat di dalam vakuola) melalui observasi dengan analisis spektrofotometri. Kebocoran tersebut terjadi akibat kerusakan vakuola karena *treatment* PEF. Tonapan *et al.* (2016), mengungkapkan bahwa kerusakan akibat medan listrik

ada dua jenis yaitu kerusakan pada membran sel dan tonoplas atau kerusakan hanya terjadi pada membran sel saja. Dellarosa (2016), mengatakan bahwa penggunaan tegangan menengah dan tinggi (250v/cm dan 400v/cm) dapat menghilangkan kemungkinan perbedaan antar ruang sel, hal ini terjadi karena kerusakan intens dari kedua plasma yaitu membran plasma dan tonoplas. Dapat disimpulkan bahwa teknologi PEF yang diterapkan dapat merusak membran plasma dan membran vakuola atau tonoplas tergantung pada durasi dan besarnya tegangan yang digunakan. Semakin tinggi tegangan dan durasi penerapan PEF maka akan meningkatkan probabilitas rusaknya membran plasma dan juga tonoplas yang menyelimuti vakuola sebagai tempat penyimpanan metabolit sekunder seperti minyak atsiri. Rusaknya tonoplas akibat PEF dapat meningkatkan sekresi senyawa yang terdapat didalam vakuola, sehingga proses pengambilan senyawa dari dalam vakuola tersebut dapat berlangsung lebih cepat dan mudah.

4.2 Pengaruh Perlakuan PEF terhadap Transfer Massa

Perpindahan massa merupakan proses berpindahnya suatu komponen dalam suatu campuran dari satu fase ke fase lain akibat perbedaan konsentrasi atau tekanan diantara dua titik. Mc Cabe *et al.* (2005), menyatakan bahwa untuk mencapai titik kesetimbangan, perpindahan massa terjadi secara perlahan dari fase yang berkonsentrasi tinggi dan akan berdifusi ke fase yang memiliki konsentrasi rendah. Pada penelitian destilasi minyak atsiri biji pala transfer massa yang dilihat adalah perpindahan minyak dari dalam biji pala akibat tekanan uap air (destilasi) menuju lingkungan sebagai destilat. Dimana, konsentrasi minyak tertinggi berada didalam biji pala dan terdifusi keluar karena kondisi di luar biji pala merupakan fase dengan konsentrasi yang lebih rendah.

Perhitungan perpindahan massa dilakukan dengan menggunakan persamaan $N_A = -C \times D_{AB} \times \frac{dX_A}{dz}$ (6). Perpindahan massa dihitung pada proses destilasi tanpa *pre-treatment* PEF dan pada proses destilasi dengan *pre-treatment* PEF. Perpindahan massa dinyatakan dengan koefisien difusi

yang hasil secara keseluruhan dapat dilihat pada **Lampiran 1**. Data tersebut menunjukkan bahwa terjadi perbedaan transfer massa yang terjadi antara perlakuan tanpa *pre-treatment* PEF dengan perlakuan *pre-treatment* PEF. Perbedaan transfer massa yang terjadi dapat dilihat pada **Tabel 4.1**

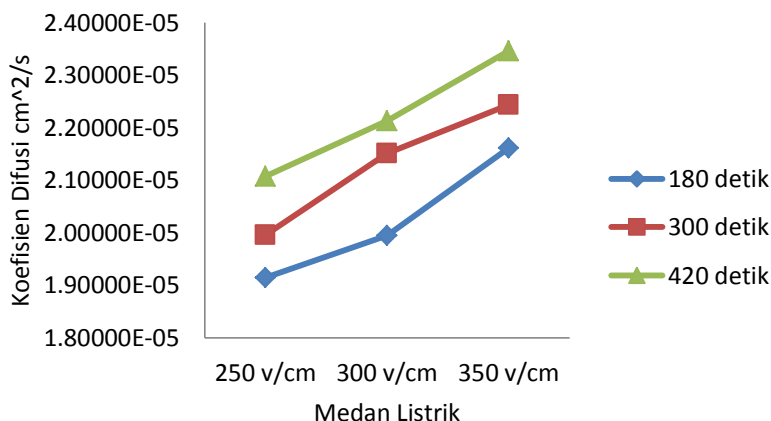
Tabel 4.1 Perbedaan transfer massa antara perlakuan tanpa *pre-treatment* PEF dengan perlakuan *pre-treatment* PEF

	Koefisien Difusi dengan <i>pre-treatment</i> PEF (cm ² /s)	Koefisien Difusi Perlakuan Kontrol (cm ² /s)	Perbedaan Koefisien Difusi (cm ² /s)	Peningkatan Koefisien Difusi (%)	Peningkatan Rendemen (%)
E1t1	1,9140 x 10 ⁻⁵	1,9011 x 10 ⁻⁵	0,130 x 10 ⁻⁵	0,677	6,158
E1t2	1,9961 x 10 ⁻⁵		0,951 x 10 ⁻⁵	4,762	10,789
E1t3	2,1070 x 10 ⁻⁵		2,059 x 10 ⁻⁵	9,774	15,081
E2t1	1,9947 x 10 ⁻⁵		0,936 x 10 ⁻⁵	4,693	10,903
E2t2	2,1517 x 10 ⁻⁵		2,506 x 10 ⁻⁵	11,647	15,783
E2t3	2,2136 x 10 ⁻⁵		3,125 x 10 ⁻⁵	14,118	17,498
E3t1	2,1617 x 10 ⁻⁵		2,607 x 10 ⁻⁵	12,059	14,606
E3t2	2,2438 x 10 ⁻⁵		3,428 x 10 ⁻⁵	15,276	18,295
E3t3	2,3461 x 10 ⁻⁵		4,450 x 10 ⁻⁵	18,969	23,462
Ket :	E1 = 250v/cm E2 = 300v/cm E3 = 350v/cm		T1 = 180 detik T2 = 300 detik T3 = 420 detik		

Pada **Tabel 4.1** dapat dilihat bahwa perlakuan kontrol memiliki koefisien difusi sebesar 1,9011 x 10⁻⁵cm²/s sedangkan perlakuan dengan *pre-treatment* PEF memiliki koefisien difusi yang lebih tinggi. Peningkatan koefisien difusi akibat perlakuan PEF terjadi hingga 18,969% ketika diberi perlakuan PEF 350v/cm selama 420 detik (E3T3). Peningkatan koefisien difusi terjadi karena pemberian tegangan tinggi pada biji pala yang menyebabkan medan listrik di luar biji pala lebih tinggi jika dibandingkan dengan medan listrik didalamnya. Akibatnya terjadi elektroporasi yang menyebabkan membran sel rusak bahkan pecah. Rusak atau pecahnya membran sel akibat perlakuan PEF tersebut meningkatkan transfer massa yang terjadi. Puertolas and Maranon (2015) menyatakan bahwa teknologi PEF berdampak pada mekanisme elektroporasi

membran sel dan akibatnya terjadi peningkatan transfer massa. Dobрева *et al.* (2010) pada penelitiannya menyatakan bahwa aplikasi PEF meningkatkan proses difusi pada jaringan bunga mawar sehingga mengurangi waktu destilasi dari 2,5 jam menjadi 1,5 jam untuk mendapatkan hasil yang sama.

Tabel 4.1 juga menjelaskan bahwa antar perlakuan dengan *pre-treatment* PEF pun terjadi perbedaan transfer massa. Transfer massa terus meningkat seiring dengan semakin besar medan listrik dan semakin lama waktu paparan PEF yang digunakan sebelum proses destilasi. Perbedaan transfer massa antar perlakuan PEF dapat dilihat lebih jelas pada **Gambar 4.5**.



Gambar 4.5 Grafik rata-rata transfer massa

Berdasarkan **Gambar 4.5** dapat dilihat bahwa nilai koefisien difusi yang menandakan perpindahan massa dalam satuan luas per waktu tertinggi adalah pada perlakuan medan listrik 350v/cm dengan lama waktu PEF 420 detik menghasilkan koefisien difusi sebesar $0,000023461 \text{ cm}^2/\text{s}$. Adapun perpindahan massa terendah terjadi pada perlakuan medan listrik 250v/cm pada paparan 180 detik sebesar $0,000019140 \text{ cm}^2/\text{s}$.

Pada **Tabel 4.1** dapat dilihat bahwa peningkatan koefisien difusi diiringi dengan peningkatan rendemen yang didapatkan. Semakin tinggi nilai koefisien difusi, semakin tinggi rendemen yang didapatkan karena massa yang terdifusi mengalami peningkatan yang berpengaruh terhadap jumlah destilat yang dihasilkan. Dobrova *et al.* (2010) mengatakan bahwa penggunaan teknologi PEF sebelum destilasi minyak mawar dapat memfasilitasi proses difusi pada jaringan tanaman sehingga terjadi peningkatan rendemen.

Transfer massa minyak atsiri yang terdapat didalam biji pala terjadi secara difusi melalui lipid bilayer (Irawati, 2014). Transfer massa akibat perlakuan PEF lebih tinggi karena lipid bilayer yang dilintasi telah mengalami kerusakan. Kerusakan yang terjadi mengakibatkan massa dari dalam sel lebih mudah terdifusi keluar sel, sehingga massa yang mengalami transfer lebih banyak jumlahnya. Dobrova *et al.* (2010) menyatakan bahwa transfer massa minyak atsiri dari inti bahan menuju permukaan membutuhkan kekuatan pendorong untuk meningkatkan proses difusi dalam melintasi membran sel dan dinding sel. Peningkatan difusi dapat dilakukan untuk merusak struktur jaringan dan membantu pelepasan minyak atsiri dari jaringan yang kemudian dapat dipisahkan dengan dorongan uap air. Peningkatan difusi dilakukan menggunakan PEF karena dapat menyebabkan elektroporasi pada membran sel.

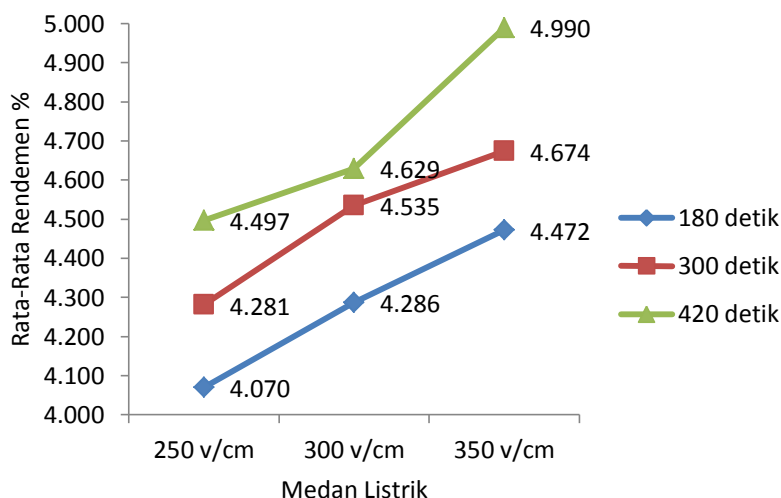
Siemer *et al.* (2012), menyatakan bahwa dalam proses destilasi terjadi transfer massa yang dipengaruhi oleh suhu, karena prinsipnya adalah memisahkan dua komponen berdasarkan titik didih yang berbeda. Penggunaan suhu destilasi yang tinggi dapat menyebabkan kerusakan pada produk yang rentan terhadap suhu tinggi. Pada proses difusi, membran sel merupakan selaput penghalang bersifat semipermeabel yang dapat menghalangi proses difusi zat-zat yang diinginkan pada proses destilasi, karena tidak semua bahan dapat melewati membran sel. Peningkatan difusi yang terhalang oleh membran sel dapat dilakukan dengan menerapkan teknologi PEF yang akan mengakibatkan rusaknya membran sel, sehingga ekstrak dapat dengan mudah menyebar sepanjang gradien konsentrasi dan suhu proses destilasi dapat

diturunkan sehingga bahan yang rentan terhadap suhu tinggi tidak mengalami kerusakan. Selain itu, hasil destilat juga dapat meningkat. Debrova *et al.* (2010), telah menerapkan teknologi PEF pada proses destilasi minyak mawar dan mendapatkan hasil yang lebih tinggi karena massa yang terdifusi jauh lebih banyak jika dibandingkan dengan destilasi tanpa teknologi PEF.

4.3 Karakteristik Minyak Atsiri Biji Pala dengan *Pre-Treatment* (PEF)

4.3.1 Hasil Rendemen Minyak Atsiri Biji Pala

Rendemen minyak atsiri biji pala adalah hasil perbandingan antara massa minyak biji pala dengan massa bahan baku (biji pala) yang digunakan. Rendemen yang dihasilkan dinyatakan dalam satuan persen (%). Data hasil rendemen secara keseluruhan dapat dilihat pada **Lampiran 2**. Data tersebut menunjukkan bahwa semakin besar medan listrik yang digunakan maka semakin besar rendemen yang dihasilkan dan semakin lama waktu paparan PEF maka semakin besar pula rendemen yang diperoleh. Grafik rata-rata perolehan rendemen minyak atsiri pala dapat dilihat pada **Gambar 4.6**.



Gambar 4.6 Grafik rata-rata rendemen minyak atsiri biji pala

Berdasarkan **Gambar 4.6** diketahui bahwa semakin besar medan listrik yang digunakan dan semakin lama waktu pada saat *treatment* PEF maka rendemen yang dihasilkan juga meningkat. Rendemen tertinggi diperoleh pada perlakuan PEF dengan medan listrik 350v/cm dan waktu PEF selama 420 detik sebesar 4,99% (w/w) dan rendemen terendah pada medan listrik sebesar 250v/cm dengan paparan PEF selama 180 detik sebesar 4,07% (w/w). Hasil penelitian sesuai dengan pendapat Donsi *et al.* (2010), yang menyatakan bahwa penggunaan waktu paparan PEF yang lebih lama dapat memicu proses elektroporasi pada membran sel akibat adanya medan listrik yang tinggi. Proses tersebut mengakibatkan kerusakan pada membran sel, sehingga terjadi pembentukan pori-pori yang lebar dan bersifat *irreversible*.

Rendemen dari penelitian dianalisa secara statistik yang dapat dilihat pada **Lampiran 3**. Berdasarkan analisa tersebut didapatkan kesimpulan bahwa pada tingkat keyakinan 95% faktor medan listrik dan faktor lama PEF memiliki pengaruh terhadap rendemen yang dihasilkan karena *p-value* kurang dari 0,05 (H_0 ditolak). Pengaruh yang diberikan bernilai positif, artinya peningkatan rendemen beriringan dengan peningkatan medan listrik dan lama waktu paparan PEF yang diberikan. Akan tetapi, kedua faktor tersebut tidak saling berinteraksi dalam proses peningkatan rendemen karena *p-value* lebih dari 0,05 (H_0 diterima). Tidak adanya interaksi antar kedua faktor tersebut menandakan bahwa tiap faktor tersebut tidak saling ketergantungan dan bersifat individu dalam hal peningkatan rendemen minyak atsiri biji pala. Oleh karena itu, uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) hanya dilakukan untuk melihat perbedaan hasil rendemen minyak atsiri biji pala pada perlakuan medan listrik dan perbedaan hasil rendemen minyak atsiri biji pala pada perlakuan lama PEF. Hasil uji DMRT medan listrik dapat dilihat pada **Tabel 4.2** hasil uji DMRT lama PEF dapat dilihat pada **Tabel 4.3**

Tabel 4.2 Uji DMRT Medan Listrik terhadap Rata-rata Rendemen

Medan Listrik	Rata-Rata Rendemen (%)	Notasi
250 v/cm	4,28233	a
300 v/cm	4,48333	b
350 v/cm	4,71211	c

Keterangan : Notasi yang sama menandakan tidak signifikan antar perlakuan

Pada **Tabel 4.2** dapat dilihat bahwa antar perlakuan medan listrik memiliki notasi yang berbeda dan hal tersebut menandakan bahwa tiap perlakuan berbeda. Rata-rata rendemen tertinggi ditunjukkan pada medan listrik 350v/cm kemudian diikuti medan listrik 300v/cm dan 250v/cm. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi medan listrik, rata-rata rendemen yang dihasilkan juga semakin tinggi. Guderjan *et al.* (2007), menyatakan bahwa semakin besar medan listrik yang diberikan maka semakin tinggi permeabilitas sel. Permeabilitas sel yang tinggi terjadi karena sel mengalami perubahan bentuk yang *irreversible*, sehingga ketika dilakukan ekstraksi, minyak yang terekstrak lebih banyak. Perubahan sel yang *irreversible* inilah yang memicu peningkatan rendemen ketika proses destilasi.

Tabel 4.3 Uji DMRT Lama PEF terhadap Rata-rata Rendemen

Lama PEF	Rata-Rata Rendemen (%)	Notasi
180 detik	4,27611	a
300 detik	4,49644	b
420 detik	4,70522	c

Keterangan : Notasi yang sama menandakan tidak signifikan antar perlakuan

Tabel 4.3 menjelaskan bahwa antar perlakuan lama PEF memiliki notasi berbeda yang menandakan bahwa tiap perlakuan berbeda. Rata-rata rendemen tertinggi ditunjukkan pada lama PEF 420 detik kemudian diikuti lama PEF 300 detik dan 180 detik. Dapat disimpulkan bahwa peningkatan rendemen minyak atsiri biji pala berbanding lurus dengan lama paparan

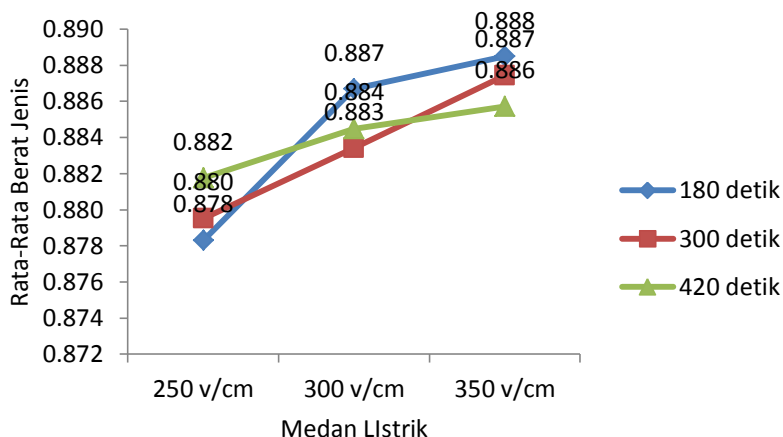
PEF. Semakin lama paparan PEF yang diberikan maka akan semakin tinggi rendemen yang dihasilkan. Penggunaan waktu PEF lebih lama diduga dapat menyebabkan kerusakan pada membran sel, sehingga terjadi pembentukan pori-pori yang lebih besar dan bersifat *irreversible*. Pembentukan pori-pori yang lebih besar terjadi karena proses elektroporasi pada membran sel akibat muatan medan listrik.

4.3.2 Hasil Berat Jenis Minyak Atsiri Biji Pala

Berat jenis adalah salah satu parameter yang digunakan untuk menentukan kualitas minyak atsiri. Berat jenis didapatkan dari hasil perbandingan massa suatu zat (minyak atsiri biji pala) dengan massa air pada suhu dan volume yang sama. Berat jenis minyak merupakan kumpulan berat molekul dari komponen penyusun minyak tersebut pada volume yang telah ditentukan. Simbolon (2012), menyatakan bahwa tinggi rendahnya nilai berat jenis sangat erat kaitannya dengan fraksi komponen-komponen yang terkandung di dalamnya, semakin besar fraksi berat yang terkandung dalam minyak, maka semakin besar nilai berat jenis minyak tersebut. Standar Nasional Indonesia (SNI 06-2388-2006) menyatakan bahwa minyak pala yang baik adalah memiliki berat jenis dengan rentang 0,880 – 0,910 pada suhu 20°C.

Data hasil berat jenis secara keseluruhan dapat dilihat pada **Lampiran 4**. Data tersebut menunjukkan bahwa tidak semua berat jenis memenuhi standar. Adapun berat jenis minyak atsiri biji pala dengan *treatment* PEF berkisar antara 0.878-0.888 g/mL. Grafik rata-rata berat jenis minyak atsiri pala dapat dilihat pada **Gambar 4.7**.

Gambar 4.7 menjelaskan bahwa nilai berat jenis minyak atsiri biji pala memiliki nilai yang fluktuatif. Berat jenis minyak atsiri biji pala tertinggi diperoleh pada perlakuan medan listrik 350v/cm dengan paparan selama 180 detik sebesar 0,888. Berat jenis terendah pada perlakuan medan listrik 250v/cm dengan paparan selama 180 detik sebesar 0,878.



Gambar 4.7 Grafik rata-rata berat jenis minyak atsiri biji pala

Berat jenis minyak atsiri biji pala hasil penelitian dianalisa secara statistik yang dapat dilihat pada **Lampiran 5**. Berdasarkan analisa tersebut dapat diketahui bahwa pada tingkat keyakinan 95% perlakuan medan listrik berpengaruh terhadap berat jenis karena p -value kurang dari 0,05 (H_0 ditolak) sedangkan perlakuan lama PEF serta interaksi antara kedua faktor (lama PEF dan medan listrik) tidak berpengaruh terhadap berat jenis minyak atsiri biji pala yang dihasilkan karena p -value lebih dari 0,05 (H_0 diterima). Perlakuan lama PEF yang diterapkan tidak berpengaruh nyata terhadap hasil berat jenis minyak atsiri biji pala. Hal tersebut menunjukkan bahwa waktu yang digunakan pada penelitian telah sesuai karena berat jenis yang dihasilkan berada dalam rentang SNI minyak atsiri biji pala.

Secara keseluruhan, hanya perlakuan medan listrik yang berpengaruh nyata terhadap berat jenis minyak atsiri biji pala, sehingga perlu dilakukan uji lanjut untuk melihat perbedaan hasil antar perlakuan medan listrik tersebut. Uji lanjut yang digunakan adalah uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT). Hasil uji DMRT medan listrik dapat dilihat pada **Tabel 4.4**

Tabel 4.4 Uji DMRT Medan Listrik terhadap Rata-rata Berat Jenis

Medan Listrik	Rata-Rata Berat Jenis	Notasi
250 v/cm	0,87978	a
300 v/cm	0,88489	b
350 v/cm	0,88722	b

Keterangan : Notasi yang sama menandakan tidak signifikan antar perlakuan

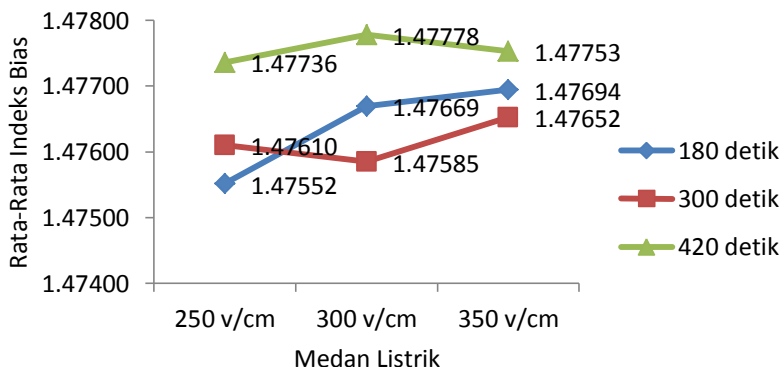
Tabel 4.4 menjelaskan bahwa terdapat perbedaan notasi antara medan listrik 250v/cm dengan 300v/cm dan 350v/cm, akan tetapi antara medan listrik 300v/cm dengan 350 v/cm tidak memiliki notasi yang berbeda. Perbedaan notasi menandakan bahwa perlakuan tersebut berbeda. Rata-rata berat jenis tertinggi ditunjukkan pada medan listrik 350v/cm kemudian diikuti medan listrik 300v/cm dan 250v/cm. Rata-rata berat jenis akan meningkat seiring dengan peningkatan medan listrik yang digunakan. Berat jenis minyak atsiri dipengaruhi oleh jumlah komponen yang terkandung dalam minyak atsiri dan setiap komponen memiliki berat yang berbeda, hal inilah yang menyebabkan perbedaan berat jenis minyak atsiri biji pala. Penggunaan waktu PEF menghasilkan fraksi berat yang relatif sama, sedangkan penggunaan medan listrik menghasilkan fraksi berat yang berbeda. Kombinasi antara waktu PEF dan medan listrik menghasilkan nilai berat jenis yang berbeda karena dipengaruhi oleh besaran medan listrik yang digunakan. Berdasarkan hasil penelitian pada **Lampiran 5** menunjukkan bahwa penggunaan waktu PEF pada medan listrik yang berbeda menghasilkan berat jenis yang relatif sama. Namun, penggunaan variasi medan listrik pada waktu PEF yang sama menghasilkan berat jenis yang berbeda. Menurut Guenther (1987), semakin besar fraksi berat yang terkandung dalam minyak maka semakin besar pula nilai berat jenisnya. Diduga pada hasil destilasi minyak atsiri biji pala perlakuan 350v/cm selama 180 detik mengandung komponen dengan berat molekul yang tinggi sehingga nilai berat jenis menjadi tinggi.

4.3.3 Hasil Indeks Bias Minyak Atsiri Biji Pala

Indeks bias merupakan salah satu parameter untuk menentukan kualitas minyak yang berkaitan dengan struktur dan komposisi senyawa organik suatu bahan (Anam,2010). Nilai indeks bias meningkat ketika minyak atsiri mempunyai rantai karbon panjang dan terdapat sejumlah ikatan rangkap (Nugraheni dkk., 2016). Adapaun Standar Nasional Indonesia (SNI 06-2388-2006) untuk minyak pala yang baik adalah memiliki indeks bias dengan rentang 1,470 – 1,497 pada suhu 20°C.

Data indeks bias minyak atsiri biji pala secara keseluruhan dapat dilihat pada **Lampiran 6**. Data tersebut menunjukkan bahwa semua indeks bias memenuhi standar. Indeks bias minyak atsiri biji pala dengan *treatment* PEF berkisar antara 1,47552-1,47778. Grafik rata-rata indeks bias minyak atsiri pala dapat dilihat pada **Gambar 4.8**

Pada **Gambar 4.8** dapat diketahui bahwa indeks bias minyak atsiri biji pala bernilai fluktuatif. Indeks bias paling tinggi terjadi pada perlakuan medanlistrik 300v/cm dengan paparan selama 420 detik sebesar 1,47778 dan indeks bias terendah terdapat pada perlakuan medan listrik 250v/cm dengan paparan 180 detik sebesar 1,47552. Dapat disimpulkan bahwa rata-rata indeks bias tiap perlakuan telah sesuai dengan SNI (06-2388-2006).



Gambar 4.8 Grafik rata-rata indeks bias minyak atsiri biji pala

Indeks bias minyak atsiri biji pala hasil penelitian dianalisa secara statistik yang dapat dilihat pada **Lampiran 7**. Berdasarkan analisa tersebut didapatkan kesimpulan bahwa pada tingkat keyakinan 95% tidak terdapat perbedaan yang nyata dari indeks bias minyak atsiri biji pala pada perlakuan medan listrik tidak berpengaruh dan tidak terjadi interaksi antara medan listrik dengan lama PEF karena p -value lebih dari 0,05 (H_0 diterima). Akan tetapi, perlakuan lama PEF berpengaruh terhadap indeks bias minyak atsiri biji pala yang dihasilkan karena p -value kurang dari 0,05 (H_0 ditolak). Perlakuan medan listrik yang diterapkan tidak berpengaruh nyata terhadap hasil indeks bias minyak atsiri biji pala. Hal tersebut menunjukkan bahwa medan listrik yang digunakan pada penelitian telah sesuai karena indeks bias yang dihasilkan berada dalam rentang SNI minyak atsiri biji pala.

Perlakuan lama PEF secara keseluruhan berpengaruh nyata terhadap indeks bias minyak atsiri biji pala, sehingga perlu dilakukan uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) untuk melihat perbedaan hasil antar perlakuan lama PEF tersebut. Hasil uji DMRT dapat dilihat pada **Tabel 4.5**

Tabel 4.5 Tabel Uji DMRT Lama PEF terhadap Rata-rata Indeks Bias

Lama PEF	Rata-Rata Indeks Bias	Notasi
180 detik	1,4761589	a
300 detik	1,4763844	a
420 detik	1,4775578	b

Keterangan : Notasi yang sama menandakan tidak signifikan antar perlakuan

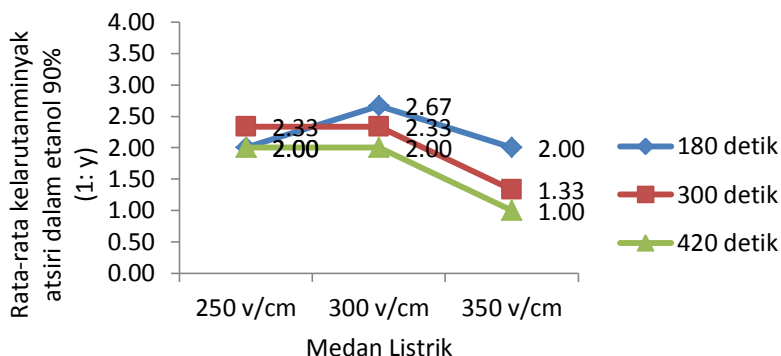
Berdasarkan **Tabel 4.5** dapat dilihat bahwa lama PEF 180 detik dan 300 detik memiliki notasi yang sama dan memiliki notasi yang berbeda dengan perlakuan lama PEF 420 detik. Rata-rata indeks bias tertinggi diperoleh pada lama PEF 420 detik dan diikuti dengan lama PEF 300detik dan 180 detik yang tidak berbeda secara nyata. Perlakuan lama PEF yang berbeda menghasilkan indeks bias yang berbeda karena semakin lama paparan PEF sebagai *pre-treatment* destilasi

dapat meningkatkan komponen kimia penyusun minyak atsiri. Peningkatan komponen kimia minyak atsiri menyebabkan bertambahnya kerapatan minyak atsiri, sehingga nilai indeks bias meningkat. Armando (2009), menjelaskan bahwa komponen kimia dalam minyak atsiri termasuk fraksi berat dapat meningkatkan kerapatan minyak, sehingga sinar yang datang dibiaskan mendekati garis normal. Pembiasan yang mendekati garis normal terjadi karena fraksi berat minyak mengandung molekul-molekul yang berantai panjang. Sipahelut dan Telussa (2011) semakin banyak komponen berantai panjang atau komponen yang bergugus oksigen ikut tersuling, maka komponen medium minyak atsiri bertambah, sehingga cahaya yang datang sukar untuk dibiaskan. Cahaya yang sulit dibiaskan pada minyak atsiri menyebabkan indeks biasnya semakin besar. Dari **Gambar 4.8** dapat disimpulkan bahwa minyak atsiri hasil perlakuan medan listrik 350v/cm selama 300 detik (E3T2) memiliki komponen bergugus oksigen yang tinggi sehingga memiliki nilai indeks bias yang paling tinggi (sukar untuk dibiaskan).

4.3.4 Hasil Kelarutan Minyak Atsiri Biji Pala dalam Etanol 90%

Kelarutan dalam etanol juga merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk menentukan kualitas minyak atsiri karena kelarutan dalam etanol berkaitan dengan sifat polaritas sehingga dapat menentukan kemurnian minyak atsiri. Semakin banyak kandungan komponen polar pada minyak atsiri, maka minyak tersebut akan mudah larut dalam pelarut polar. Adapun kelarutan dalam etanol 90% menurut Standar Nasional Indonesia SNI 06-2388-2006) untuk buah pala adalah 1:1 - 1:3 jernih dan seterusnya jernih.

Data kelarutan dalam etanol minyak atsiri biji pala secara keseluruhan dapat dilihat pada **Lampiran 8**. Data tersebut menunjukkan bahwa semua kelarutan dalam etanol memenuhi standar. Kelarutan dalam etanol minyak atsiri biji pala dengan *treatment* PEF berkisar antara 1:1 hingga 1:3. Adapun grafik rata-rata kelarutan dalam etanol minyak atsiri pala dapat dilihat pada **Gambar 4.9**



Gambar 4.9 Grafik rata-rata kelarutan dalam etanol

Berdasarkan **Gambar 4.9** diketahui bahwa kelarutan minyak atsiri biji pala pada etanol 90% cenderung fluktuatif. Kelarutan minyak atsiri terbaik adalah 1:1 yang terjadi akibat perlakuan medan listrik 350 v/cm dengan lama paparan PEF 420 detik, sedangkan kelarutan dalam etanol yang terburuk terjadi pada perlakuan medan listrik 300 v/cm dengan lama paparan 180 detik yang bernilai 1:2,67. Secara keseluruhan kelarutan minyak atsiri dalam etanol 90% telah memenuhi SNI (06-2388-2006), yaitu 1:1 - 1:3 jernih dan seterusnya jernih. Pada **Gambar 4.9** tersebut juga dapat dilihat bahwa yang paling mempengaruhi kelarutan minyak atsiri biji pala dalam etanol 90% adalah medan listrik yang digunakan.

Hasil kelarutan minyak atsiri biji pala dalam etanol 90% dianalisis secara statistik. Analisis statistik digunakan untuk melihat pengaruh faktor terhadap hasil yang didapatkan. Hasil analisis statistik kelarutan minyak atsiri biji pala dalam etanol 90% dapat dilihat pada **Lampiran 9**. Berdasarkan uji tersebut diketahui bahwa *p-value* dari medan listrik kurang dari 0,05 (H_0 ditolak) dan lama PEF lebih dari 0,05 (H_0 diterima) yang menandakan bahwa pada tingkat kepercayaan 95% terdapat perbedaan yang nyata dari kelarutan minyak atsiri biji pala dalam etanol 90% dan pada perlakuan medan listrik dan tidak terdapat perbedaan yang nyata dari kelarutan minyak atsiri biji pala dalam etanol 90% pada perlakuan lama PEF. Interaksi

antar perlakuan medan listrik dan lama PEF memiliki nilai p -value lebih dari 0,05 sehingga H_0 diterima. Hal tersebut menyatakan bahwa tidak terdapat interaksi antara medan listrik dengan lama paparan PEF dari hasil kelarutan minyak atsiri biji pala dalam etanol 90%.

Perlakuan lama PEF secara keseluruhan tidak memberikan hasil kelarutan dalam etanol 90% yang berbeda, karena lama PEF yang digunakan telah sesuai dan kelarutan etanol yang dihasilkan berada dalam rentang SNI minyak atsiri biji pala. Kemudian perlakuan medan listrik memberikan hasil kelarutan dalam etanol 90% yang berbeda. Oleh karena itu, hanya perlakuan medan listrik yang perlu dilakukan uji lanjut untuk melihat perbedaan antar perlakuan. Uji lanjut yang dilakukan adalah uji *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) untuk melihat perbedaan hasil antar perlakuan medan listrik tersebut. Hasil uji DMRT dapat dilihat pada **Tabel 4.6**

Berdasarkan **Tabel 4.6** diketahui bahwa terdapat perbedaan notasi antara medan listrik 200v/cm dengan 350v/cm, akan tetapi antara medan listrik 250v/cm dengan 300v/cm serta 250v/cm dengan 350v/cm tidak memiliki notasi yang berbeda. Perbedaan notasi menandakan bahwa perlakuan tersebut berbeda dan yang memiliki notasi yang sama menandakan tidak terdapat perbedaan. Rata-rata kelarutan etanol terbaik diperoleh pada medan listrik 350v/cm diikuti dengan 250v/cm dan 300v/cm, dimana perlakuan 350v/cm tpada selang kepercayaan 95% tidak berbeda nyata dengan dua medan listrik lainnya.

Tabel 4.6 Uji DMRT Medan Listrik terhadap Rata-rata Kelarutan dalam Etanol 90 %

Medan Listrik	Rata-Rata Kelarutan dalam Etanol 90 %	Notasi
250 v/cm	1 : 2,11	ab
300 v/cm	1 : 2,33	b
350 v/cm	1 : 1,44	a

Keterangan : Notasi yang sama menandakan tidak signifikan antar perlakuan

Perbedaan kelarutan minyak atsiri biji pala dalam etanol 90% terjadi karena perbedaan komponen yang terdapat dalam minyak atsiri biji pala. Minyak atsiri biji pala memiliki sifat yang larut dalam pelarut organik dan tidak dapat larut dalam air. Guenther (1987), menyatakan bahwa semakin rendah daya larut atau semakin sukar larut minyak atsiri dalam alkohol terjadi karena rendahnya kandungan terpen teroksigenasi pada minyak atsiri. Berdasarkan data kelarutan minyak atsiri biji pala dalam etanol 90% dapat disimpulkan bahwa perlakuan 350v/cm selama 420 detik memiliki kandungan komponen teroksigenasi yang lebih tinggi karena memiliki kelarutan dalam etanol yang lebih tinggi. Penggunaan waktu PEF menghasilkan komponen terpen teroksigenasi yang relatif sama, sedangkan penggunaan medan listrik menghasilkan komponen terpen teroksigenasi yang berbeda. Kombinasi antara waktu PEF dan medan listrik menghasilkan nilai kelarutan dalam etanol yang berbeda karena dipengaruhi oleh besaran medan listrik yang digunakan. Berdasarkan hasil penelitian pada **Lampiran 9** menunjukkan bahwa penggunaan waktu PEF pada medan listrik yang berbeda menghasilkan kelarutan dalam etanol yang relatif sama. Namun, penggunaan variasi medan listrik pada waktu PEF yang sama menghasilkan kelarutan dalam etanol yang berbeda. Sipahelut dan Telussa (2011), menyatakan bahwa semakin tinggi senyawa terpen, semakin rendah daya larutnya karena senyawa terpen tak teroksigenasi merupakan senyawa non polar yang tidak mempunyai gugus fungsional. Salah satu senyawa terpen teroksigenasi yang terdapat dalam minyak atsiri biji pala adalah terpineol.

4.4 Perlakuan Kontrol (Tanpa PEF)

Perlakuan kontrol merupakan perlakuan destilasi minyak atsiri biji pala tanpa adanya *pre-treatment* PEF. Data hasil perlakuan kontrol dapat dilihat pada **Lampiran 10**. Perlakuan kontrol dilakukan sebanyak 3 kali ulangan. Rata-rata hasil parameter perlakuan kontrol dapat dilihat pada **Tabel 4.7**.

Tabel 4.7 Hasil Perlakuan Kontrol Minyak Atsiri Biji Pala

Parameter	Hasil Analisa Fisik	SNI (06-2388-2006)
Rendemen	3,819 %	-
Berat Jenis	0,881	0,880-0,910
Indeks Bias	1,47535	1,470-1,497
Kelarutan dalam Etanol	1 : 1,33	1 : 3 jernih, dan seterusnya jernih

Berdasarkan **Tabel 4.7** dapat dilihat bahwa rata-rata hasil perlakuan kontrol memiliki rendemen sebesar 3,819 %. Adapun berat jenisnya adalah sebesar 0,881, indeks bias sebesar 1,47535 dan kelarutan dalam etanol 90% adalah 1:1,33. Dapat disimpulkan bahwa perlakuan kontrol yang telah dihasilkan sesuai dengan standar minyak atsiri biji pala SNI (06-2388-2006).

4.4.1 Komponen Kimia

Pengujian komponen kimia dalam minyak atsiri dilakukan menggunakan peralatan *Gas Chromatography-Mass Spectrometer* (GC-MS). Berdasarkan pengujian yang dilakukan, didapatkan 25 komponen yang terkandung didalam minyak atsiri biji pala tanpa *pre-treatment* PEF. Komponen kimia tersebut dapat dilihat pada **Tabel 4.8**, sedangkan hasil pengujian GC-MS secara keseluruhan dapat dilihat pada **Lampiran 11**.

Tabel 4.8 menjelaskan bahwa 4 senyawa kimia tertinggi pada minyak atsiri biji pala tanpa perlakuan PEF adalah *terpineol*, *myristicin*, γ -*terpinene*, dan *safrol* sebesar 23,56%; 18,36%; 14,88%; dan 12,21%. Empat senyawa kimia tertinggi tersebut merupakan senyawa utama yang terdapat dalam minyak atsiri biji pala. *Terpineol* merupakan senyawa alkohol yang bersifat volatil dari golongan terpenoid dengan toksisitas rendah dan merupakan senyawa bahan dasar parfum (Bhatia, 2008). *Terpineol* banyak digunakan pada industri parfum, kosmetik, industri sabun, pengobatan tradisional, dan aromaterapi (Jadhav 2013; De Sousa *et al.* 2007; Golshani *et al.* 2004; Raina *et al.* 2004; Yuasa and Yuasa 2006). *Myristicin* merupakan komponen yang memberikan aroma khas pala,

bersifat mudah menguap dan mempunyai daya bunuh yang hebat terhadap larva serangga serta dapat meningkatkan aktivitas mental atau sebagai bahan psikoaktif atau psikotropika (Kapelle dan Laratmase, 2014). Selanjutnya, safrol merupakan senyawa pada minyak pala yang dapat digunakan sebagai bahan baku antiseptik dan ekstasi (Suhirman, 2013).

Tabel 4.8 Komponen Kimia Penyusun Minyak Atsiri Biji Pala Tanpa - *Pre-treatment* PEF

No	Nama Komponen	Area %
1	<i>γ- terpinene</i>	14,88
2	<i>Sabinen hidrat, trans</i>	1,17
3	<i>α- Terpinolene</i>	8,96
4	<i>Linalool</i>	1,74
5	<i>Sabinen hidrat, trans</i>	1,31
6	<i>Sabinen hidrat, trans</i>	1,80
7	<i>Sabinen hidrat, trans</i>	1,09
8	<i>Terpineol</i>	23,56
9	<i>α- terpineol</i>	5,05
10	<i>Piperitol, trans</i>	1,82
11	<i>Piperitol trans</i>	0,78
12	<i>Isobornyl acetate</i>	0,43
13	<i>Safrol</i>	12,21
14	<i>Ethanone, 1- (3- propoxyphenyl)</i>	2,36
15	<i>Citronellyl acetate</i>	0,12
16	<i>Camphene</i>	0,57
17	<i>α- cubabene</i>	0,28
18	<i>Eugenol</i>	0,98
19	<i>Linallyl acetate</i>	0,51
20	<i>α- copaene</i>	0,98
21	<i>Methyleugenol</i>	0,38
22	<i>α- bergamotene</i>	0,12
23	<i>Chavibetol</i>	0,25
24	<i>Myristicin</i>	18,36
25	<i>Elemycin</i>	0,29

Minyak atsiri biji pala memiliki regulasi standar terhadap komponen yang dimiliki. Regulasi tersebut diatur dalam ISO 3215-1998. Pada regulasi tersebut, terdapat 9 komponen utama minyak atsiri biji pala yaitu *α-pinene*, *β-pinene*, *sabinene*, *δ-3-*

carene, *limonene*, γ -*terpinene*, *terpineol*, *safrole*, dan *myristicin*. Komponen minyak atsiri biji pala tanpa *pre-treatment* PEF secara garis besar belum memenuhi standar yang telah ditetapkan karena dari 9 komponen utama tersebut, hanya 5 komponen yang ditemukan ketika dilakukan uji GC-MS. Tidak ditemukannya senyawa utama dan ditemukan senyawa lainnya pada minyak atsiri biji pala ini diduga terjadi karena perbedaan pertumbuhan pohon pala di daerah yang berbeda-beda yang pada akhirnya mempengaruhi senyawa kimia yang dihasilkan. Perbandingan komponen utama minyak atsiri biji pala tanpa *pre-treatment* PEF dengan standar ISO 3215-1998 dapat dilihat pada **Tabel 4.9**.

Berdasarkan **Tabel 4.9** diketahui bahwa hanya 5 komponen utama yang ditemukan pada minyak atsiri biji pala tanpa *pre-treatment* PEF. Komponen tersebut adalah *sabinene*, γ -*terpinene*, *terpineol*, *safrol*, dan *myristicin* yang rata-rata nilainya melebihi standar yang telah ditetapkan, kecuali pada *sabinen* yang memiliki nilai kurang dari standar yang telah ditetapkan. Senyawa *terpineol* dan γ -*terpinene* memiliki nilai yang lebih tinggi dari standar sedangkan senyawa *limonene*, δ -3-*carene*, dan α -*pinene* tidak ditemukan. Hal tersebut dapat terjadi karena α -*pinene* yang ada telah mengalami perubahan menjadi senyawa kimia lain. Holguin *et al.* (2008), Valencia *et al.* (2003) dan Comelli *et al.* (2006), menyatakan bahwa proses isomerisasi α -*pinene* merupakan reaksi paralel yang akan menghasilkan produk *bi-* dan *tricyclic* terdiri dari *camphene*, *tricyclene*, δ -3-*carene* dan produk *monocyclic* yang berupa *limonene*, α -*terpinene*, γ -*terpinene*, *terpineol*. Daryono (2015), juga mengatakan bahwa senyawa α -*pinen* merupakan senyawa terbesar pada minyak terpentin yang dapat disintesis menjadi *terpineol* sebagai senyawa obat dari terpentin hasil hutan non kayu.

Tabel 4.9 Perbandingan Komponen Kimia Penyusun Minyak Atsiri Biji Pala Tanpa *Pre-treatment* PEF dengan Standar ISO 3215-1998

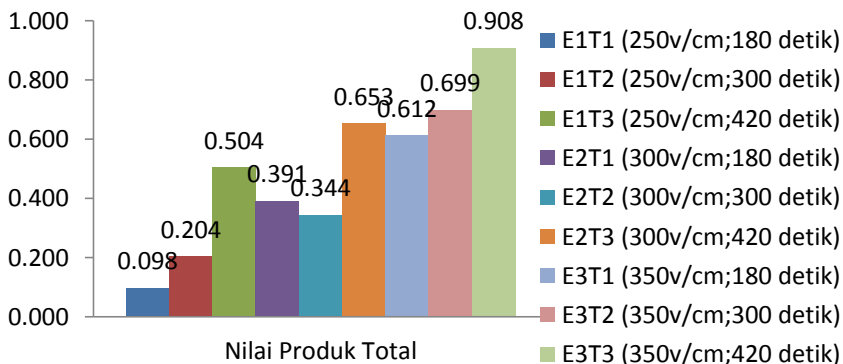
No	Komponen	Minyak pala tanpa <i>pre-treatment</i> PEF (%)	ISO 3215-1998 (<i>oil of nutmeg, Indonesian type</i>) (%)	Keterangan
1	α -pinene	-	15 – 28	Kurang dari standar
2	β -pinene	-	13 – 18	Kurang dari standar
3	Sabinene	5,37	14 – 29	Kurang dari standar
4	δ -3-Carene	-	0,5 – 2	Kurang dari standar
5	Limonene	-	2 – 7	Kurang dari standar
6	γ -Terpinene	14,88	2 – 6	Melebihi standar
7	Terpineol	23,56	2 – 6	Melebihi standar
8	Safrole	12,21	1 - 2,5	Melebihi standar
9	Myristicin	18,36	5 – 12	Melebihi standar

4.5 Perlakuan Terbaik

Pemilihan perlakuan terbaik ditentukan berdasarkan metode indeks efektivitas atau De Garmo (De Garmo *et al.*, 1984). Data perhitungan pemilihan perlakuan terbaik dapat dilihat pada **Lampiran 12**. Parameter yang digunakan untuk menentukan perlakuan terbaik adalah rendemen, indeks bias, berat jenis, dan kelarutan dalam etanol 90%. Hasil analisis perlakuan terbaik dengan metode De Garmo dipilih berdasarkan nilai NP (Nilai Produk) yang tertinggi.

Perhitungan pemilihan perlakuan terbaik dimulai dengan merata-ratakan hasil setiap parameter yang digunakan. Kemudian untuk menentukan bobot dari setiap parameter yang ada, bobot diberikan sesuai dengan tingkat kepentingan setiap parameter. Adapun bobot tersebut memiliki rentang antara 0-1. Setelah tiap parameter memiliki bobotnya, dilanjutkan dengan menghitung bobot nilai yaitu hasil perbandingan antara bobot tiap parameter dengan jumlah total bobot. Dilanjutkan dengan menghitung nilai efektivitas, nilai produk, dan menjumlahkan

total nilai produk tiap parameter. Perlakuan yang terbaik merupakan perlakuan dengan total nilai produk tertinggi. Perolehan nilai produk total pada tiap perlakuan dapat dilihat pada **Gambar 4.10**



Gambar 4.10 Grafik nilai produk total tiap perlakuan

Berdasarkan **Gambar 4.10** dapat dilihat bahwa perlakuan dengan nilai produk total tertinggi adalah E3t3 yang merupakan hasil terbaik pertama. Perlakuan E3t3 memiliki nilai produk total sebesar 0,908 yang terjadi pada perlakuan medan listrik 350v/cm dengan lama PEF 420 detik (E3T3). Perlakuan terbaik ke-2 dihasilkan oleh perlakuan medan listrik 350v/cm dengan lama PEF 300 detik (E3T2) yang memiliki nilai produk total sebesar 0,699. Perolehan total nilai produk paling sedikit terjadi pada perlakuan E1t1 dengan medan listrik 250v/cm selama 180 detik sebesar 0,098. Hal tersebut juga menandakan bahwa semakin besar medan listrik dan semakin lama waktu PEF yang digunakan, maka semakin bagus kualitas dari minyak atsiri biji pala yang dihasilkan. Selanjutnya, karakteristik parameter uji minyak biji pala hasil perlakuan terbaik pertama dan terbaik kedua dapat dilihat pada **Tabel 4.10** dan **Tabel 4.11**.

Tabel 4.10 Minyak atsiri biji pala terbaik pertama E3t3 (350v/cm;420s)

Parameter	Hasil Fisik	Analisa	SNI (06-2388-2006)
Rendemen	4,990 %	-	
Berat Jenis	0,886		0,880-0,910
Indeks Bias	1,47753		1,470-1,497
Kelarutan dalam Etanol	1 : 1		1:1 – 1:3 jernih, dan seterusnya jernih

Tabel 4.11 Minyak atsiri biji pala terbaik kedua E3t2 (350v/cm;300s)

Parameter	Hasil Fisik	Analisa	SNI (06-2388-2006)
Rendemen	4,674 %	-	
Berat Jenis	0,887		0,880-0,910
Indeks Bias	1,47652		1,470-1,497
Kelarutan dalam Etanol	1 : 1,33		1:1 – 1:3 jernih, dan seterusnya jernih

Berdasarkan **Tabel 4.10** dan **Tabel 4.11** dapat dilihat bahwa nilai setiap parameter uji yang dilakukan telah memenuhi standar minyak atsiri biji pala yang ditetapkan yaitu SNI (06-2388-2006). Perlakuan PEF dengan medan listrik yang tinggi dengan waktu yang lebih lama terbukti dapat meningkatkan rendemen dan kualitas minyak atsiri biji pala. PEF sebagai *pre-treatment* destilasi mampu merusak membran sel pada biji pala. Kerusakan membran sel yang berfungsi sebagai keluar masuknya zat mengakibatkan komponen-komponen yang berada didalam sel lebih mudah untuk terdifusi keluar dari sel pada saat dilakukannya proses destilasi.

4.5.1 Komponen Kimia

Pengujian komponen kimia juga dilakukan terhadap 2 sampel hasil perlakuan terbaik pertama dan kedua. Berdasarkan pengujian yang dilakukan, masing-masing sampel memiliki 25 komponen yang terkandung didalam minyak atsiri biji pala tersebut. Antara perlakuan terbaik pertama dan kedua terdapat beberapa perbedaan komponen yang dihasilkan. Selain perbedaan komponen, perbedaan area terhadap komponen yang sama juga terdapat perbedaan. Komponen

kimia pada minyak atsiri biji pala terbaik pertama dapat dilihat pada **Tabel.12** dan terbaik kedua dapat dilihat pada **Tabel.13**, sedangkan hasil pengujian GC-MS secara keseluruhan untuk masing-masing perlakuan terbaik dapat dilihat pada **Lampiran 13**.

Tabel 4.12 Komponen kimia penyusun minyak atsiri biji pala perlakuan terbaik pertama E3t3 (350v/cm;420s)

No	Nama Komponen	Area %
1	<i>γ-terpinene</i>	10,97
2	<i>Sabinen hidrat, trans</i>	1,59
3	<i>α- Terpinolene</i>	7,31
4	<i>Linalool</i>	1,34
5	<i>Sabinen hidrat, trans</i>	1,29
6	<i>Sabinen hidrat, trans</i>	1,91
7	<i>Sabinen hidrat, trans</i>	1,18
8	<i>Terpineol</i>	21,79
9	<i>α-terpineol</i>	5,18
10	<i>Piperitol, trans</i>	2,17
11	<i>Piperitol, trans</i>	0,85
12	<i>Isobornyl acetate</i>	0,45
13	<i>Safrol</i>	11,68
14	<i>Ethanone, 1- (3- propoxyphenyl)</i>	2,05
15	<i>Citronellyl acetate</i>	0,14
16	<i>α-terpynil acetat</i>	0,68
17	<i>α-cubebene</i>	0,26
18	<i>Chavibetol</i>	1,33
19	<i>Geranyl acetat</i>	0,52
20	<i>α- cupaene</i>	0,85
21	<i>Methyleugenol</i>	0,54
22	<i>Isoeugenol</i>	0,56
23	<i>Myristicin</i>	3,24
24	<i>Myristicin</i>	21,66
25	<i>Elemycin</i>	0,46

Berdasarkan **Tabel 4.12** dapat dilihat bahwa 4 komponen kimia tertinggi pada minyak atsiri biji pala perlakuan terbaik pertama pada medan listrik 350v/cm selama 420 detik adalah *myristicin,terpineol, safrol, dan γ-terpinene*, sebesar 24,9%; 21,79%; 11,68%; dan 10,97%. Kemudian pada **Tabel**

4.13 diketahui bahwa 4 komponen kimia tertinggi pada minyak atsiri biji pala perlakuan terbaik kedua pada medan listrik 350v/cm selama 300 detik adalah *terpineol*, *myristicin*, γ -*terpinene*, dan *safrol* sebesar 22,35%; 22,29%; 11,43%; dan 11,33%.

Tabel 4.13 Komponen kimia penyusun minyak atsiri biji pala perlakuan terbaik kedua E3t2(350v/cm;300s)

No	Nama Komponen	Area %
1	γ - <i>terpinene</i>	11,43
2	<i>Sabinen hydrat, trans</i>	1,56
3	α - <i>terpinole</i>	7,48
4	<i>Linalool</i>	1,09
5	<i>Sabinen hydrat, trans</i>	1,09
6	<i>Sabinen hydrat, trans</i>	1,94
7	<i>Sabinen hydrat, trans</i>	1,36
8	<i>Terpineol</i>	22,35
9	α - <i>terpineol</i>	5,53
10	<i>Piperitol, trans</i>	2,61
11	<i>Piperitol, trans</i>	1,00
12	<i>Lynallyl acetate</i>	0,14
13	<i>Isobornyl acetate</i>	0,45
14	<i>Safrol</i>	11,33
15	<i>Anisole, p-pentyl</i>	2,86
16	<i>Citronellol acetate</i>	0,14
17	<i>Camphene</i>	0,61
18	α - <i>cubebene</i>	0,31
19	<i>Chavibetol</i>	1,23
20	<i>Linallyl acetate</i>	0,65
21	α - <i>cubabene</i>	0,97
22	<i>Methyleugenol</i>	0,53
23	<i>Isougenol</i>	0,57
24	<i>Myristicin</i>	22,29
25	<i>Elemycin</i>	0,48

Perlakuan terbaik pertama (350v/cm selama 420 detik) dan perlakuan terbaik kedua (350v/cm selama 300 detik) terdapat perbedaan senyawa kimia yang dihasilkan. Perbedaan senyawa yang dihasilkan terjadi karena terdapatnya perbedaan perlakuan pendahuluan (*pre-treatment*) pada kedua sampel

tersebut. Perbedaan perlakuannya terletak pada lama paparan PEF yang diberikan yaitu 420 detik dan 300 detik. Perlakuan terbaik pertama (350v/cm selama 420 detik) menghasilkan komponen *myristicin* yang merupakan komponen penghasil aroma pala memiliki jumlah lebih tinggi jika dibandingkan dengan perlakuan terbaik kedua (350v/cm selama 300 detik), diduga peristiwa tersebut terjadi karena rusaknya membran sel pada perlakuan 350v/cm selama 420 detik lebih parah sehingga sekresi senyawa khas pala lebih banyak jika dibandingkan dengan 350 v/cm selama 300 detik. Secara keseluruhan, kedua perlakuan terbaik tersebut masih belum memenuhi standar ISO 3215-1998 yang merupakan regulasi dari komponen minyak atsiri biji pala. Perbandingan senyawa utama minyak atsiri biji pala perlakuan terbaik pertama (350v/cm selama 420 detik) dan kedua (350v/cm selama 300 detik) dengan standar ISO 3215-1998 dapat dilihat pada **Tabel 4.14** dan **Tabel 4.15**.

Tabel 4.14 Perbandingan komponen kimia penyusun minyak atsiri biji pala perlakuan terbaik pertama E3T3 (350v/cm;420s) dengan ISO 3215-1998

No	Komponen	Minyak biji pala terbaik pertama (E3t3) (%)	ISO 3215-1998 (<i>oil of nutmeg, Indonesian type</i>) (%)	Keterangan
1	<i>α-pinene</i>	-	15 – 28	Kurang dari standar
2	<i>β-pinene</i>	-	13 – 18	Kurang dari standar
3	<i>Sabinene</i>	5,97	14 – 29	Kurang dari standar
4	<i>δ-3-Carene</i>	-	0,5 – 2	Kurang dari standar
5	<i>Limonene</i>	-	2 – 7	Kurang dari standar
6	<i>γ-Terpinene</i>	10,97	2 – 6	Melebihi standar
7	<i>Terpineol</i>	21,79	2 – 6	Melebihi standar
8	<i>Safrole</i>	11,68	1 - 2,5	Melebihi standar
9	<i>Myristicin</i>	24,90	5 – 12	Melebihi standar

Tabel 4.15 Perbandingan komponen kimia penyusun minyak atsiri biji pala perlakuan terbaik kedua E3T2 (350v/cm;300s) dengan ISO 3215-1998

No	Komponen	Minyak biji pala terbaik pertama (E3t2) (%)	ISO 3215-1998 (oil of nutmeg, Indonesian type) (%)	Keterangan
1	α -pinene	-	15 – 28	Kurang dari standar
2	β -pinene	-	13 – 18	Kurang dari standar
3	Sabinene	5,95	14 – 29	Kurang dari standar
4	δ -3-Carene	-	0,5 – 2	Kurang dari standar
5	Limonene	-	2 – 7	Kurang dari standar
6	γ -Terpinene	11,43	2 – 6	Melebihi standar
7	Terpineol	22,35	2 – 6	Melebihi standar
8	Safrole	11,33	1 - 2,5	Melebihi standar
9	Myristicin	22,29	5 – 12	Melebihi standar

Tabel 4.14 dan **4.15** menjelaskan bahwa dua perlakuan terbaik hanya mengandung 5 komponen senyawa utama yaitu *sabinene*, γ -*terpinene*, *terpineol*, *safrol*, dan *myristicin*. Komponen *sabinene* memiliki nilai kurang dari jumlah yang telah ditetapkan standar, sedangkan empat komponen lainnya memiliki nilai yang melebihi standar. Tidak sesuainya senyawa yang dihasilkan dengan standar yang telah ditetapkan diduga terjadi karena perbedaan pertumbuhan pohon pala di daerah yang berbeda-beda sehingga mempengaruhi senyawa kimia yang dihasilkan. Selain itu, perlakuan PEF juga berdampak terhadap sekresi senyawa kimia dalam biji pala. Seperti sekresi senyawa *myristicine* dan *safrol* pada perlakuan terbaik pertama (350v/cm selama 420 detik) lebih tinggi dari pada perlakuan terbaik kedua (350v/cm selama 300 detik), yang mana senyawa *myristicine* merupakan senyawa yang memberikan aroma pala dan *safrol* merupakan senyawa yang bersifat sebagai antiseptik yang ketika dipisahkan dari komponen minyak atsiri lainnya (dimurnikan) memiliki nilai jual yang lebih tinggi.

4.6 Perbandingan Perlakuan Terbaik dengan Perlakuan Kontrol

Perlakuan terbaik dan perlakuan kontrol perlu dibandingkan untuk melihat dampak penggunaan *pre-treatment* PEF terhadap minyak atsiri biji pala. Adapun perlakuan kontrol digunakan sebagai acuan untuk mengetahui hasil penelitian menjadi lebih baik atau lebih buruk. Perbandingan dilakukan terhadap karakteristik minyak dan terhadap komponen kimia yang dihasilkan. Perbandingan karakteristik minyak atsiri biji pala dapat dilihat pada **Tabel 4.16** dan perbandingan komponen kimia dapat dilihat pada **Tabel 4.17**.

Tabel 4.16 Perbandingan karakteristik perlakuan terbaik pertama dan kedua dengan perlakuan kontrol

Karakteristik	Perlakuan terbaik pertama E3T3 (350v/cm;420 detik)	Perlakuan terbaik kedua E3T2 (350v/cm;300 detik)	Perlakuan kontrol	SNI (06-2388-2006)
Rendemen	4,990 %	4,674 %	3,819 %	-
Berat Jenis	0,886	0,887	0,881	0,880-0,910
Indeks Bias	1,47753	1,47652	1,47535	1,470-1,497
Kelarutan dalam Etanol 90%	1 : 1	1 : 1,33	1 : 1,33	1 : 3 jernih, dan seterusnya jernih

Pada **Tabel 4.16** dapat diketahui bahwa terjadi peningkatan rendemen pada perlakuan terbaik pertama sebesar 23,462 % dan perlakuan terbaik kedua sebesar 18,295%. Parameter berat jenis, indeks bias, dan kelarutan dalam etanol 90% minyak atsiri biji pala perlakuan terbaik pertama dan kedua memiliki nilai yang lebih tinggi dari pada minyak atsiri dengan perlakuan kontrol. Peningkatan nilai dari tiap parameter menandakan bahwa terjadi peningkatan hasil dan kualitas minyak atsiri biji pala dengan *pre-treatment* PEF jika

dibandingkan dengan minyak atsiri biji pala tanpa *pre-treatment* PEF. Pada penelitian Yajun *et al.* (2017) juga menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kualitas dan kuantitas minyak atsiri bunga mawar yang diberikan *pre-treatment* PEF sebelum proses destilasi. Hasil penelitiannya mengungkapkan bahwa peningkatan rendemen pada destilasi minyak bunga mawar dengan perlakuan PEF dapat mencapai 50% dan Dobрева *et al.* (2010), menyatakan bahwa *pre-treatment* PEF memiliki keuntungan untuk meningkatkan rendemen dari minyak atsiri. Peningkatan rendemen pada penelitiannya terjadi antara 13-33%.

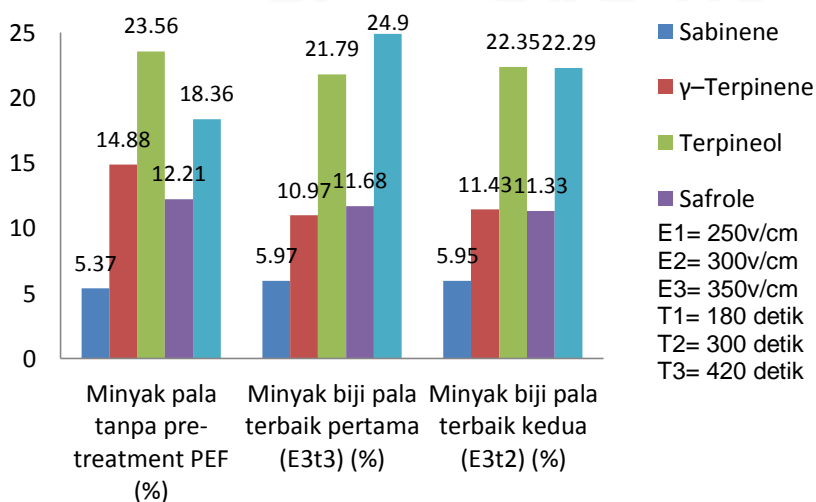
Jumlah senyawa kimia yang dihasilkan perlakuan kontrol dan perlakuan terbaik sama-sama berjumlah 25 senyawa. Akan tetapi, terdapat beberapa perbedaan senyawa dan jumlah senyawa yang dihasilkan. Perbedaan tersebut menandakan adanya perbedaan karakteristik dari minyak atsiri biji pala. Adanya perbedaan komponen senyawa kimia penyusun minyak atsiri akan menyebabkan terjadinya perbedaan karakteristik fisik minyak atsiri. Senyawa yang terdapat di dalam minyak atsiri biji pala mempunyai sifat intrinsik yang berdasarkan pada karakteristik senyawa kimia secara molekular dan berdampak pada sifat fisik seperti berat jenis, indeks bias, dan kelarutan dalam etanol.

Pada **Tabel 4.17** dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan senyawa yang dihasilkan antara perlakuan kontrol dengan perlakuan PEF meskipun senyawa kimia penting yang muncul antara ketiga perlakuan tersebut adalah sama yaitu *sabinene*, γ -*terpinene*, *terpineol*, *safrol*, dan *myristicin*. Akan tetapi, area yang dihasilkan tiap perlakuan berbeda. Grafik perolehan area senyawa kimia tiga perlakuan tersebut dapat dilihat pada **Gambar 4.11**. Perbedaan senyawa kimia tersebut adalah terdapatnya senyawa *eugenol* dan *isougenol* pada perlakuan kontrol yang tidak terdapat pada perlakuan dengan *treatment* PEF. Eugenol merupakan senyawa kimia pada minyak atsiri yang mempunyai sifat sebagai stimulant, anestetik local, karminatif, antiemetic, antiseptic, dan antispasmodic (Putri dkk., 2001). Isougenol adalah turunan eugenol yang diperoleh dari reaksi isomerisasi (Sharma *et al.*, 2006).

Tabel 4.17 Perbandingan komponen kimia perlakuan terbaik pertama dan kedua dengan perlakuan kontrol

No	Komponen Kimia	Perlakuan Kontrol (Tanpa PEF)	Area (%) Perlakuan Terbaik Pertama (E3T3)	Perlakuan Terbaik Ke dua (E3T2)
1	<i>γ-terpinene</i>	14,88	10,97	11,43
2	<i>Sabinen hidrat, trans</i>	1,17	1,59	1,56
3	<i>α- Terpinolene</i>	8,96	7,31	7,48
4	<i>Linalool</i>	1,74	1,34	1,09
5	<i>Sabinen hidrat, trans</i>	1,31	1,29	1,09
6	<i>Sabinen hidrat, trans</i>	1,8	1,91	1,94
7	<i>Sabinen hidrat, trans</i>	1,09	1,18	1,36
8	4-Terpineol	23,56	21,79	22,35
9	<i>α-terpineol</i>	5,05	5,18	5,53
10	<i>Piperitol, trans</i>	1,82	2,17	2,61
11	<i>Piperitol trans</i>	0,78	0,85	1,00
12	<i>Lynallyl acetate</i>	-	-	0,14
13	<i>Isobornyl acetate</i>	0,43	0,45	0,45
14	Safrol	12,21	11,68	11,33
15	<i>Anisole, p-pentyl</i>	-	-	2,86
16	<i>Ethanone, 1- (3-propoxyphenyl)</i>	2,36	2,05	-
17	<i>Citronellyl acetate</i>	0,12	0,14	0,14
18	<i>α- terpynil acetat</i>	-	0,68	-
19	<i>Geranyl acetat</i>	-	0,52	-
20	<i>Camphene</i>	0,57	-	0,61
21	<i>α-cubabene</i>	0,28	0,26	0,31
22	<i>Eugenol</i>	0,98	-	-
23	<i>Linallyl acetate</i>	0,51	-	0,65
24	<i>α- copaene</i>	0,98	0,85	-
25	<i>α- cubabene</i>	-	-	0,97
26	<i>Methyleugenol</i>	0,38	0,54	0,53
27	<i>α- bergamotene</i>	0,12	-	-
28	<i>Chavibetol</i>	0,25	1,33	1,23
29	<i>Isougenol</i>	-	0,56	0,57
30	<i>Myristin</i>	-	3,24	-
31	Myristin	18,36	21,66	22,29
32	<i>Elemycin</i>	0,29	0,46	0,48
Ket:	E1 = 250v/cm T1 = 180 detik	E2 = 300v/cm T2 = 300 detik	E3 = 350v/cm T3 = 420 detik	

Gambar 4.11 menjelaskan bahwa senyawa *sabinene* tertinggi terdapat pada perlakuan terbaik pertama (350v/cm selama 420 detik) sebesar 24,9% dan yang terendah adalah perlakuan kontrol sebesar 18.36%. Senyawa *sabinene* merupakan senyawa yang memberikan rasa pedas pada lada hitam dan minyak yang diperoleh dari tanaman pala. *Sabinene* dapat dikonversi menjadi *terpinene* ketika dipanaskan dengan sulfat encer dan dapat dikonversi menjadi *terpineol 4* dan *terpin terpinene* ketika dikocok dengan asam sulfat (Julianto, 2016). Senyawa γ -*terpinene* tertinggi terdapat pada perlakuan kontrol sebesar 14,88% dan terendah pada perlakuan terbaik pertama (350v/cm selama 420 detik) sebesar 10,97. Senyawa γ -*terpinene* merupakan senyawa yang berfungsi sebagai antioksidan yang dapat menghambat peroksidasi asam linoleat dalam minyak pangan (Foti dan Ingold, 2003). Kemudian senyawa *terpineol* merupakan hasil sintesis dari α -*pinene*, digunakan sebagai campuran pada industri kosmetik sebagai parfum, *shampoo* dan sabun sedangkan dalam industri farmasi sebagai anti jamur, anti serangga, pembersih, dan deterjen (Daryono, 2015).



Gambar 4.11 Perolehan area senyawa kimia

Gambar 4.11 juga menjelaskan bahwa senyawa safrol tertinggi terdapat pada perlakuan kontrol yaitu sebesar 12,21% dan terendah pada perlakuan terbaik kedua (350v/cm selama 300 detik) sebesar 11,33 %. Selanjutnya senyawa *myristicine* tertinggi terdapat pada perlakuan terbaik pertama (350v/cm selama 420 detik) sebesar 24,9% dan terendah pada perlakuan kontrol sebesar 18,36%. Perlakuan PEF dapat menurunkan kandungan safrol yang terdapat pada minyak atsiri biji pala dan meningkatkan kandungan *myristicine*. Sipahelut dan Telussa (2011), menyatakan bahwa *myristicine* dan *safrol* merupakan senyawa organik yang menjadi ciri khas pada minyak atsiri pala dan Kapelle dan Laratmase (2014), menyatakan bahwa *myristicine* bersifat mudah menguap dan mempunyai daya bunuh yang hebat terhadap larva serangga serta dapat meningkatkan aktivitas mental atau sebagai bahan psikoaktif atau psikotropika. Suhirman (2013), menyatakan bahwa safrol merupakan senyawa pada minyak pala yang dapat digunakan sebagai bahan baku antiseptik.

4.7 Neraca Massa

Neraca massa merupakan suatu sistem perhitungan kuantitatif yang berfungsi untuk mengetahui semua massa yang masuk, yang keluar, yang terakumulasi (tersimpan), dan terbuang dalam sistem tersebut. Perhitungan neraca massa digunakan untuk mencari variabel proses yang belum diketahui berdasarkan data variabel proses yang telah diketahui (Wardana, 2008).

Perhitungan neraca massa destilasi minyak atsiri biji pala dengan *pre-treatment* PEF merupakan neraca massa dari perlakuan terbaik (E3T3) medan listrik 350v/cm dan lama PEF 420 detik yang menghasilkan rendemen sebesar 4,990%. Basis baku pada perhitungan neraca massa adalah sebesar 1000 gr biji pala remah dan 4000 mL air sebagai input. Kemudian, minyak atsiri biji pala sebagai hasil akhir dari penyulingan. Hasil akhir destilasi minyak atsiri biji pala pada perhitungan neraca massa adalah sebesar 49,9 g. Perhitungan neraca massa destilasi minyak atsiri biji pala dapat dilihat pada **Lampiran 14**.

Proses pertama yang dilakukan dalam destilasi minyak atsiri biji pala adalah penimbangan. Bahan baku yang masuk pada proses penimbangan adalah remahan biji pala sebesar 1000 g dan bahan baku yang keluar dari proses ini adalah 1000 g. Selanjutnya dilakukan *pre-treatment* PEF selama 420 detik. Bahan baku yang masuk berupa remahan biji pala 1000 g. Setelah mengalami *pre-treatment* PEF, bahan baku yang keluar dari proses berupa remahan biji pala sebesar 1000 g. Pada proses *pre-treatment* PEF tidak ada massa yang hilang. Donsi *et al.*(2010) menyatakan bahwa efek dari PEF sebagai perlakuan pendahuluan hanya menyebabkan permeabilitas membran sel, sehingga dapat mempercepat perpindahan massa dalam peningkatan ekstraksi senyawa. Proses selanjutnya adalah destilasi uap air. Bahan baku yang masuk berupa remahan biji pala setelah *pre-treatment* PEF sebesar 1000 g dan air sebanyak 4000 g. Bahan yang dihasilkan dari proses ini berupa minyak atsiri biji pala sebanyak 49,9 g, biji pala sisa destilasi 1232 g, dan air sisa destilasi sebanyak 3550 g. Pada proses destilasi terdapat massa yang hilang sebesar 168,1 g, diduga massa tersebut merupakan uap air yang terbentuk selama proses destilasi.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Penggunaan medan listrik dan lama paparan *Pulsed Electric Field* (PEF) memiliki pengaruh positif terhadap hasil dan kualitas minyak atsiri biji pala yang ditinjau dari parameter berat jenis, indeks bias, dan kelarutan dalam etanol 90%.
2. Kombinasi medan listrik dan waktu PEF yang tepat adalah penggunaan medan listrik 350v/cm dan waktu PEF selama 420 detik (E3T3). Jika dibandingkan dengan perlakuan kontrol (tanpa *pre-treatment* PEF), perlakuan terbaik tersebut mengalami peningkatan transfer massa hingga 18,969% dan rendemen meningkat hingga 23,462%. Selain itu juga terjadi peningkatan kualitas fisik yang dilihat dari berat jenis (0,886), indeks bias (1,47753), dan kelarutan etanol (1:1) yang lebih bagus jika dibandingkan dengan minyak atsiri biji pala tanpa *pre-treatment* PEF. Komponen kimia minyak atsiri biji pala dengan *pre-treatment* PEF mengalami peningkatan pada komponen *myristicin* dan mengalami penurunan pada komponen *safrol* yang merupakan senyawa khas dan penentu harga pada minyak atsiri pala.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan peningkatan transfer massa dan rendemen yang terus terjadi hingga perlakuan medan listrik 350v/cm selama 420 detik. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan meningkatkan medan listrik dan lama waktu PEF untuk menentukan titik stasioner peningkatan rendemen minyak atsiri biji pala. Selain itu, perlu adanya penelitian tentang analisa kelayakan fisik dan finansial terkait dengan penerapan teknologi PEF jika hendak diterapkan pada industri penyulingan minyak atsiri biji pala.



DAFTAR PUSTAKA

- Agoes, A. 2010. **Tanaman Obat Indonesia**. Jakarta : Salemba Medika
- Agusta, A. 2009. **Minyak Atsiri Tumbuhan Tropika Indonesia**. Bandung: Penerbit ITB.
- Alberts, B. 1994. ***Molecular Biology of the Cell***. Garland Publishing, New York.
- Anam, C. 2010. **Ekstraksi Oleoresin Jahe (*Zingiber officinale*) Kajian dari Ukuran Bahan, Pelarut, Waktu, dan Suhu**. Jurnal Pertanian MAPETA, ISSN : 1411-2817. Universitas Islam Darul Ulum. Lamongan. 7(2):72-144
- Armando, R. 2009. **Memproduksi 15 Minyak Atsiri Berkualitas**. Penebar Swadaya. Depok
- Badan Pusat Statistik. 2017. Harga perdagangan Besar Beberapa Hasil Pertanian dan Bahan Ekspor Utama di Jakarta (Rupiah per Kuintal), 2010-2015. <https://www.bps.go.id/linkTabelStatis/view/id/1459>. Diakses 20 September 2017
- Badan Pusat Statistik. 2017. Produksi Perkebunan Rakyat Menurut Jenis Tanaman (Ribuan Ton), 2000-2015. <https://www.bps.go.id/linkTabelStatis/view/id/1459>. Diakses 20 September 2017
- Badan Standarisasi Nasional. 2016. **SNI 06-2388-2006 Minyak Pala (*Myristica fragrans*)**. Badan Standarisasi Nasional : Jakarta
- Baier, A.K., Bubler, S., and Knorr, D. 2015. ***Potential of High Isostatic Pressure and Pulsed Electric Fields to Improve Mass Transport in Pea Tissue***. Food Research International. 76: 66-73
- Bangkaha. 2011. **Pengertian Distilasi (Penyulingan)**. Bangkaha. blogspot.com/2011/12/pengertian-distilasi-penyulingan.html. Diakses pada 8 Oktober 2017
- Bhatia, S.P., Letizia C. S., and Api. M. 2008. ***Fragrance Material Review on Patchouli Alcohol***. Food and Chemical Toxicology. 46 : 255-256

- Bustaman, S. 2008. **Prospek Pengembangan Minyak Pala Banda sebagai Komoditas Ekspor Maluku**. Jurnal Litbang Pertanian. 27(3): 93-98
- Campbell, N.A., Jane, B.R, and Lawrence, G.M. 2004. **Biologi Edisi 5 Jilid III**. Jakarta : Erlangga.
- Comelli, N.A., Ponzi, E. N., and Ponzi, M. I. 2006. **A Pinene Isomerization to Camphene Effect of Thermal Treatment on Sulfated Zirconia**. *Chem. Eng. J.* 117:93-99
- Daryono, E. D. 2015. **Sintesis α -Pinene Menjadi α -Terpineol Menggunakan Katalis H_2SO_4 Dengan Variasi Suhu Reaksi dan Volume Etanol**. Jurnal Teknik Kimia USU 4(2):1-6.
- De Garmo, E.P., W.G. Sullivan., and C.R. Candra. 1984. *Engineering Economy*. 7th edition. Mc Millan Publ. Co. New York.
- De Sousa, D.P., Quitans, L., and Almeida, J.R.N. 2007. **Evolution of The Anticonsulvant Activity of α -Terpineol**. *Pharm Biol.* 45: 69-70
- De Vito, F. 2006. **Application of Pulsed Electric Field (PEF) Techniques in Food Processing**. Departement of Chemical and Food Engineering. Universita Degli Studi Di Salerno
- Dobrev, A., Tintchev, F., Heinz, V., Schulz, H., Toepfl, S. 2010. **Effect of Pulsed Electric Fields (PEF) on Oil Yield and Quality During Distillation of White Oil-Bearing Rose (*Rosa alba* L.)**. *Journal of Medicinal and Spice Plants*. 15(3): 127-132
- Dellarosa, N., L. Ragni, L. Laghi, U. Tylewicz, P. Rocculi, M.D. Rosa. 2016. **Effect of Pulsed Electric Fields on Water Distribution in Apple Tissue as Monitored by NMR Relaxometry**. IFMBE Proceedings Vol 53.
- Dhaniaputri, R. 2015. **Mata Kuliah Struktur dan Fisiologi Tumbuhan sebagai Pengantar Pemahaman Proses Metabolisme Senyawa Fitokimia**. Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi. Malang
- Donsi, F., Ferrari, G., and Pataro, G. 2010. **Application of Pulsed Electric Field Treatments for the**

- Enhancement of Mass Transfer from Vegetable Tissue.*** *Journal Food Engineering Reviews.* 2 : 109-130
- Efendi, V. P. dan Widjanarko, S.B. 2014. **Distilasi dan Karakteristik Minyak Atsiri Rimpang Jeringau (Acorus calamus) dengan Kajian Lama Waktu Distilasi dan Rasio Bahan: Pelarut.** *Jurnal Pangan dan Agroindustri.* 2(2):1-8
- Elyana. 2014. **Pengaruh Waktu Destilasi Terhadap Kadara Minyak Atsiri pada Biji Pala.** Tugas Akhir. Universitas Sumatera Utara, Medan
- Fortuny, R.S., A. Balasa, D. Knorr, and O.M. Belleso. 2009. ***Effect of Pulsed Electric Field on Bioactive Compounds in Food: A Review.*** *Journal of Trends in Food Science and Technology.* 20(1) : 544-556
- Foti, M.C., dan Ingold, K.U. (2003). ***Mechanism of Inhibition of Lipid Peroxidation By γ -Terpinene, an Unusual and Potentially Useful Hydrocarbon Antioxidant .*** *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51 (9), 2758–2765.
- Fu'aida, N., Mulyadi, A. F., dan Wijana, S. 2016. **Aplikasi Pulsed Electric Field (PEF) sebagai Pretreatment pada Ekstraksi Biji Pinang (Areca catechu L) sebagai Sumber Antioksidan Alami (Kajian Besar Tegangan dan Lama Waktu PEF).** Skripsi. Universitas Brawijaya, Malang
- Golshani, S., Karamkhani, F., Monsef-Eshfani, H.R., Abdolahi, M. 2004. ***Antinoceptive Effects of Essential Oil of Drachocephalum Kotschy in The Mouse Writhing Test.*** *J. Pharm Pharm Sci.* 7: 76-79
- Guderjan, M., Elez, ., and Knor, D. 2007. ***Application of Pulsed Electric Field at Oil Yield and Content of Functional Food Ingredients at The Production of Rapeseed Oil.*** *Innov Food Sci Emerg* 8: 55-62
- Guenther, E. 1987. **Minyak Atsiri Jilid 1, penerjemah Ketaren S.** Jakarta : UI Press
- Holguin, N.F., Elguezabal, A.A., Valdez, L.M.R., Mitnik, D.G. 2008. ***Theoretical Study of Chemical Reactivity of The Main Species in The α Pinene Isomerization Reaction.*** *J. Mol. Struct. THEOCHEM.* 854 : 81-88

- Idrus,S., Marni, K., Risna, F.T., Reynaldo, B. 2014. **Isolasi Trimiristin Minyak Pala Banda Serta Pemanfaatannya sebagai Bahan Aktif Sabun**. Jurnal Riset Industri. 8(1):23-31
- Irawati, L. 2014. **Mekanisme Transport Melalui Membran**. <https://www.slideserve.com/herne/mekanisme-transport-melalui-membran>
Diakses pada 18 Agustus 2018 pukul
- Jadhav, V.D., Bhanuwanse, S.M., Patil, S.P., Chaundhari, D.V., Adke, M.B. 2013. **Antibacterial Activity of Different Plant and Callus Extracts a Comparative Study**. *Int J Sci & Technol Res*. 2(10). ISSN 2277-8616
- Jauzaa, A. A. 2013. **Keharaman atau Kehalalan Manisan Buah Pala**. <http://abul-jauzaa.blogspot.co.id/2013/02/keharaman-atau-kehalalan-manisan-buah.html>. Diakses pada 18 Oktober 2017
- Jiahui, L., W. Xinlao, W. Yonghong and L. Gongqiang. 2009. **Analysis for Relationship of Transmembrane Potential Pulse Electric Field Frequency**. *Journal of Food and Bioproducts Processing*. 87(1): 261-265
- Julianto, T., S. 2016. **Minyak Atsiri Bunga Indonesia**. Deepublish. Yogyakarta.
- Kapelle, I. B.D. and Laratmase, M.S. 2014. **Trimyristin Isolation from Nutmeg and Synthesis of Methylene Ester Using Heterogen Catalyst**. *Ind.J.Chem. Res*. 2 : 160-165
- Kementrian Pertanian. 2016. **Outlook Pala Komoditas Pertanian Subsektor Perkebunan**. Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian Sekretariat Jendral Kementrian Pertanian Sekretariat Jendral Kementrian Pertanian
- Khalili, A.A dan M.R. Ahmad. 2015. **A review of Cell Adhesion Studies for Biomedical and Biological Applications**. *Int. J. Mol. Sci.*, 16, 18149-18184
- Marliani, E. 2016. **Perpindahan Massa Antar Fase**. <https://www.scribd.com/doc/308566612/Perpindahan-Massa-Antar-Fase> Diakses pada 19 Agustus 2018

- Mc Cabe W.L , Smith J.C and Harriott P. 2005. **Unit Operation of Chemical Engineering 7th ed.** Mc Graw-Hill Education
- Nugraheni, K.S., Khasanah, L. U., Utami, R., Anandhito, B.K. 2016. **Pengaruh Perlakuan Pendahuluan dan Variasi Metode Destilasi terhadap Karakteristik Mutu Minyak Atsiri Daun Kayu Manis.** Jurnal Teknologi Hasil Pertanian. 9 (2) : 51-64
- Nurdjannah, N. 2007. **Teknologi Pengolahan Pala.** Jakarta: Balai Penelitian dan Pengembangan Pertanian
- Nurfitriana, S. 2015. **Pala: si Kecil Kaya Manfaat.** http://www.kompasiana.com/sitinurfitriana/pala-si-kecil-kaya-manfaat_551b96d8813311263d9de176. Diakses pada 17 Oktober 2017
- Puertolas, E. and Maranon, I. M. 2015. **Olive Oil Pilot Production Assisted by Pulsed Electric Field : Impact on Extraction Yield, Chemical Parameters and Sensory Properties.** Journal Food Chemistry. 167: 497-502
- Putri, R.L., Hidayat, N., dan Rahmah, N.L. 2014. **Pemurnian Eugenol dari Minyak Daun Cengkeh dengan Reaktan Basa Kuat KOH dan Ba(OH)₂ (Kajian Konsentrasi Reaktan).** Jurnal Industria. 3(1) : 1-12
- Raina, V.K., Kumar, A., Srivastava, S.K., Syamsundar K.V., Kahol, A.P. 2004. **Essential Oil Composition of Kewda (Pandonus odoratissimus) from India.** Flavor Frag J. 19: 434-436
- Ramaswamy, R., T. Jin., V. M. Balasubramaniam and H. Zhang. 2009. **Pulsed Eelectric Processing. Fact Sheet for Food Processors.** Departement of Food Science and Technology. The Ohio State University
- Raso,J., Frey, W., Ferrari, G., Pataro, G., Knor, D., Teissie, J., Miklavcic, D. 2016. **Recommendations Guidelines on the Key Information to be Reported in Studies of Application of PEF Technology in Food and Biotechnological Processes.** Innov.Food Sci. Emerg. Technol. 37: 312-321

- Ribiero, M.W., F. Noci, D.A. Cronin, J. Riener, J.G. Lyng and D.J. Morgan. 2008. ***Reduction of Staphylococcus aureus and Quality Change in Apple Juice Processed by Ultraviolet Irradiation, Pre-heating, and Pulsed Electric Field.*** *Journal of Food Enggining*. 89(1):267-273
- Rizal, S. 2010. Kajian Proses **Penyulingan Minyak Nilam Menggunakan Sistem Distilasi Air**. Skripsi. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Rohmawati, I. 2013. **Simulasi Model Perpindahan Panas dan Massa pada Proses Pengeringan Butiran Kedelai**. Skripsi Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Jember
- Schiffo, M.V.T., Tylewicz, U., Giraldez, M.C., Fito, P.J., Ragni, L., Dallarosa, M. 2016. ***Effect of Pulsed Electric Fields Pre-Treatment on Mass Transport During The Osmotic Dehydration of Organic Kiwifruit.*** *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 38 : 243-251
- Schow, E.V., Freitas, J.A., Nizkorodov, A., White, S.H., Tobias, D.J. 2012. ***Coupling Between the Voltage Sensing and Pore Domains in a Voltage Gate Potassium Channel.*** *Journal of Biochimica et Biophysica Acta*. (1818):1726-1736.
- Setiawan, J. 2012. **Pengembangan Program Perhitungan Koefisien Difusi Material dalam Rekayasa Permukaan**. Widyariset. 15(3) : 551-556
- Sharma, S.K., Srivastama, V.K., and Jasra, R.V. ***Selective Double Bond Isomerization of Allyl Phenyl Ethers Catalyzed by Ruthenium Metal Complexes.*** *J. Mol. Catal. A-Chem*. 245: 200-209
- Siemer, C., Toepfl, S., and Heinz, V. 2012. ***Mass Transport Improvment by PEF Applications in the Area of Extraction and Distillation Advances from Modeling to Applications, Dr. Sina Zareshki.*** Intech Europe. Kroasia
- Simbolon, R. 2012. **Pengaruh Perbedaan Jumlah Imbangan Pelarut dengan Adsorben Terhadap Rendemen dan Mutu Hasil Ekstraksi Minyak Atsiri Bunga Kamboja**

- (Plumeria obtusa) dengan Metode Enflurasi.** Skripsi. Fakultas Teknologi Industri Pertanian. Universitas Padjadjaran. Jatinangor
- Singh, R.P. and Heldman, D. R. 2001. **Introduction to Food Engineering.** Gulf Professional Publishing.
- Sipahelut, S.G dan Telussa, I. 2011. **Karakteristik Minyak Atsiri Dari Daging Buah Pala Melalui Beberapa Teknologi Proses.** Jurnal Teknologi Hasil Pertanian 4(2):126-134.
- Sipahelut, S.G. 2012. **Karakteristik Kimia Minyak Daging Buah Pala (Myristica fragrans Houtt) Melalui Beberapa Cara Pengeringan dan Distilasi.** Agroforesti Journal. 7 (1): 59-64
- Suhirman, S. 2013. **Diversifikasi Produk Biji Pala.** Warta Penelitian dan Pengembangan Tanaman Industri. 19(3): 17-20
- Sukardi, Soeparman, S., Argo, B. D., and Irawan, Y.S. 2013. **The Effect of Pulsed Electric Field (PEF) on Glandular Trichoma and Compounds of Patchouli Oil (Pogostemon cablin, Benth).** Journal of Natural Science Research. 3(15): 48-57
- Sukardi, Soeparman, S., Argo, B. D., and Irawan, Y.S. 2015. **The Effect of Moderate Pulsed Electric Field (PEF) on Microscopis Visualization of Glandular Trichome of Patchouli Leaves.** Journal of Engineering and Applied Sciences. 10(3): 58-65
- Suryatmi, R.D., Purwanto, W., Haryanto, B., Lukas, A. 2008. **Kajian Pemanfaatan Limbah Cakang dan Biji Muda Pala di Bandanaira.** Konferensi Nasional Minyak Atsiri. <https://minyakatsiriindonesia.wordpress.com/pemanfaatan-limbah-proses/suryatmi-r-d-dkk/>. Diakses 12 Oktober 2017
- Sutomo, B. 2006. **Buah Pala, Mengobati Gangguan Insomnia, Mual, dan Masuk Angin.** <http://www.sahabatnestle.co.id>. Diakses 6 Oktober 2017
- Tonapan, T., Panklang, N., and Techaumnat, B. 2016. **Experimental study on breakdown Behaviour and Vacuole Isolation of Protoplasts under Electrical**

- Pulses.** *IEEE Transaction on Dielectric and Electrical Insulation.* 23(4) : 2492-2498
- Valencia, O.C., Sanchez, A.R., Martinez, V.C., Alquezabal, A.A. 2003. ***Ion Exchange Resins as Catalyst for The Isomerization of α -Pinene to Camphene.*** *Bioresour. Technol.* 93: 119-123
- Walangare, K.B.A., Lumenta, A.S.M., Wuwung, J.O., Sugiarto, B.A. 2013. ***Rancang Bangun Alat Konversi Air Laut Menjadi Air Minum dengan Proses Destilasi Sederhana Menggunakan Pemanas Elektrik.*** *E-Jurnal Teknik Elektro dan Komputer.* 1:1-11
- Wardana. 2008. ***Membuat Aplikasi Berbasis Pendekatan Sistem Visual Basic.*** Elex Media Komputindo. Jakarta
- Yajun, Z., Changmei, X., Susu, Z., Guangming, Y., Ling, Z., and Shujie, W. 2017. ***Effects of High Intensity Pulsed Electric Fields on Yield and Chemical Composition of Rose Essential Oil.*** *Int J Agric and Biol Eng.* 10(3): 295-300
- Yuasa, Y. and Yuasa, Y. 2006. ***A Practical Synthesis of d- α -Terpineol Via Markovnikov Addition of d-Limonene Using Trifluoroacetic Acid.*** *Org Process Res Dev.* 10: 1231-1232
- Yuliani, S. 2012. ***Panduan Lengkap Minyak Atsiri.*** Jakarta : Penebar Swadaya
- Yuliarto, F.T., Khasanah, L.U., dan Anandito, R.B.K. 2012. ***Pengaruh Ukuran Bahan dan Metode Destilasi (Destilasi Air dan Uap-Air) Terhadap Kualitas Minyak Atsiri Kulit Kayu Manis (Cinnamomum burmannii).*** *Jurnal Teknosains Pangan.* 1(1): 12-23
- Zvitov, R. Schwartz, A., Zamski, E., Nussinovitch, A. 2003. ***Direct Current Electrical Field Effects on Intact Plant Organs.*** *Biotechnol Prog.* 19: 965-971